

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(СПбГУ)

Институт наук о Земле

Кафедра минералогии

**Тихова Евгения Андреевна**

**Минералогия железных руд месторождений Жайремского и  
Каражальского рудных узлов (Центральный Казахстан)**

Выпускная квалификационная работа магистра  
по направлению 05.04.01 «Геология»

Научный руководитель:

к.г.-м.н, доцент Е.Н. Перова

\_\_\_\_\_ 2019  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой:

д. г.-м. н., проф. А.И. Брусницын

\_\_\_\_\_ 2019  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

2019

## Содержание

1. Введение.....	3
2. Глава 1. Геологическое положение, строение и минералогия месторождений Жайремского и Каражальского рудных узлов .....	4
3. Глава 2. Петрографическая характеристика пород месторождений Жомарт и Каражал.....	10
2.1. Месторождение Жомарт.....	10
2.2. Месторождение Каражал.....	13
4. Глава 3. Минералогический состав пород месторождений Жомарт и Каражал.....	16
3.1. Породообразующие минералы.....	17
3.2. Второстепенные минералы.....	28
3.3. Акцессорные минералы.....	39
5. Глава 4. Сравнительная характеристика железных руд месторождений Жомарт и Каражал. Последовательность минералообразования.....	41
6. Заключение.....	44
7. Литература.....	45

## Введение

Месторождения Жайремского и Каражальского рудных узлов – это серия преимущественно железо-марганцевых месторождений, расположенных в Карагардинской области Центрального Казахстана. К ним относятся такие железо-марганцевые и комплексные барит-полиметаллические и железо-марганцевые месторождения как Ушкатын I, Ушкатын III, Жайрем, Большой Ктай, Жомарт, Каражал и другие (Геология СССР, том XX, 1989). В данной работе будут рассмотрены железные руды месторождений Жомарт и Каражал.

Целью данной работы является изучение и сопоставление минерального состава железо-марганцевых пород месторождений Жомарт и Каражал. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- выполнение минералого-петрографического описания пород;
- проведение диагностики главных и второстепенных минералов;
- изучение химического состава продиагностированных минералов;
- сопоставление минерального состава железистых пород месторождений Жомарт и Каражал.

Подробное изучение пород месторождений, в том числе их минералогии, может позволить выявить наиболее подходящую технологию обогащения руд для данных месторождений, что является актуальным в связи с введением в настоящее время в эксплуатацию новых участков месторождений.

В ходе работы для изучения образцов применялись следующие методы:

1. Минералого-петрографический анализ был проведен на кафедре минералогии СПбГУ при помощи оптического микроскопа Leica DLMP.
2. Энерго-дисперсионный анализ был выполнен в Ресурсном центре «Геомодель» при помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N с аналитическими приставками.
3. Рентгенофазовый анализ был проведен в Ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» при помощи рентгеновского дифрактометра Mini Flex II.

Автор работы выражает благодарность своему научному руководителю Е.Н. Перовой за помощь, подробные консультации и контроль за ходом работы; Н.В. Платоновой за консультации в ходе обработки данных рентгенофазового анализа, а также А.И. Брусницыну за общее руководство над ходом работы.

## Глава 1. Геологическое положение, строение и минералогия месторождений Жайремского и Каражальского рудных узлов

Жайремский и Каражальский рудные узлы располагаются в Карагандинской области Центрального Казахстана, примерно в 150 км к юго-западу от г. Караганда (рис. 1). Они входят в состав Атасуйского рудного комплекса, который располагается в пределах юго-западной части девонского вулканического пояса Центрального Казахстана. Атасуйский рудный район – это территория Жаильминской синклинойной структуры. Она сложена органогенно-терригенно-хемогенными породами и в меньшей степени вулканогенными образованиями позднедевонского – раннекаменноугольного возраста. Фундамент данной структуры сложен осадочными, изверженными и метаморфическими породами докембрийского и ниже-среднепалеозойского возраста (Каюпова, 1974). В пределах Жайремского рудного узла выделяется месторождение Жомарт, в пределах Каражальского узла – месторождение Каражал.

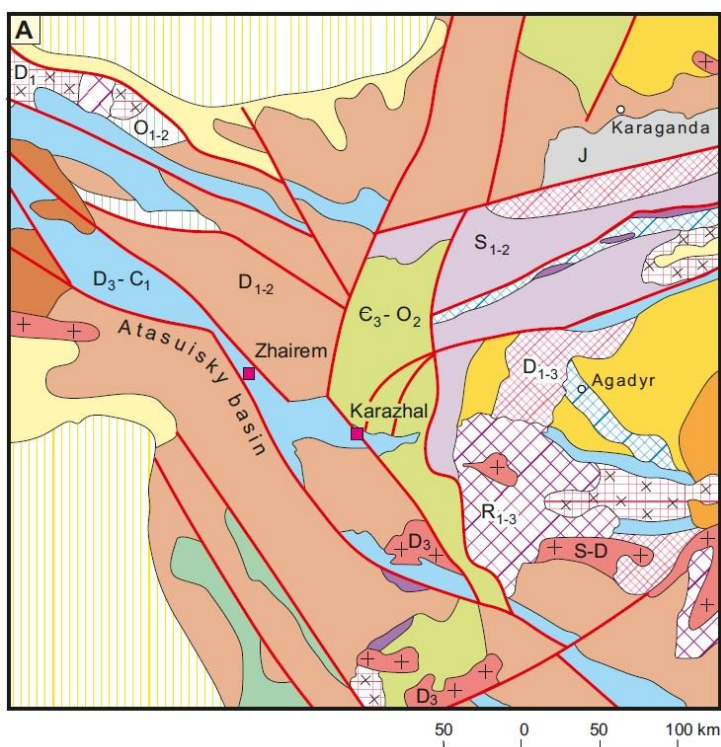


Рис. 1. Общее геологическое положение Жайремского и Каражальского рудных узлов (по Мирошниченко, б.г., из: Atlas..., 2004).

Вулканогенные породы кислого и основного состава позднедевонского возраста слагают основание разреза рассматриваемого района. На них с постепенными переходами (реже – с небольшим размывом) залегают туфогенные породы акбастауской серии франского яруса верхнего девона – туфоагломераты, туфопесчаники, пепловые туфы и лавоконгломераты, сменяемые песчаниками разной зернистости, конгломератами,

алевролитами, относящимися к этой же свите. Отложения акбастауской серии перекрываются морскими углисто-кремнисто-карбонатными отложениями нижнефаменского подъяруса (аргиллитами, мергелями и известняками с примесью песчано-глинистого материала, а также черными известняками с примесью углистого вещества и чистыми известняками) (Калинин, 1965; Каюпова, 1974).

Отложения нижнефаменского подъяруса перекрываются отложениями верхнефаменского подъяруса. Этот подъярус в первую очередь характеризуется наличием продуктивной пачки. Он состоит преимущественно из слоистых кремнисто-карбонатных пород, которые содержат в себе промышленные скопления железа, марганца, свинца. Кремнисто-карбонатные породы, подстилающие продуктивную пачку, представлены темно-серыми и черными, обогащенными глинистым, кремнистым и углистым веществом известняками, кремнистыми известняками. Карбонатные породы, содержащие рудные скопления в виде линз и пластообразных тел, представлены слоистыми красноцветными и светло-серыми известняками, иногда с линзовидными телами яшм (Калинин, 1965; Каюпова, 1974).

Продуктивная пачка верхнефаменского подъяруса согласно перекрывается безрудными монотонными карбонатными отложениями турнейского яруса каменноугольной системы. Данные отложения представлены кремнистыми известняками и кремнисто-глинистыми породами с прослоями аргиллитов, алевролитов и туфогенных образований, часть из которых хлоритизирована или обогащена углистым веществом. Эти отложения в свою очередь перекрываются карбонатными и терригенными породами визейского яруса каменноугольного возраста: известняками, аргиллитами, песчаниками (Калинин, 1964).

На всех отложениях палеозоя (как рудах, так и безрудных пачках) развита мощная кора выветривания. Отложения палеозоя и кору выветривания перекрывают песчано-глинистыми отложения палеогенового возраста, частично перекрытые, в свою очередь, четвертичными песчаными отложениями (Каюпова, 1974).

**Месторождение Жомарт**, открытое в 1945 году, относится к Жомартской группе месторождений, Жайремскому рудному узлу (рис. 2). Располагается в западной части Жаильминского синклиория. Карбонатные отложения фаменского яруса верхнего девона и нижнего карбона слагают Жомартскую синклиналь, вытянутую в субширотном направлении, которая осложняет юго-западное крыло Жаильминской синклинойной структуры. Жомартская синклиналь, в свою очередь, осложнена серией субширотных синклиналей и антиклиналей второго и более низких порядков, хорошо маркирующей марганцевыми и железными рудами.

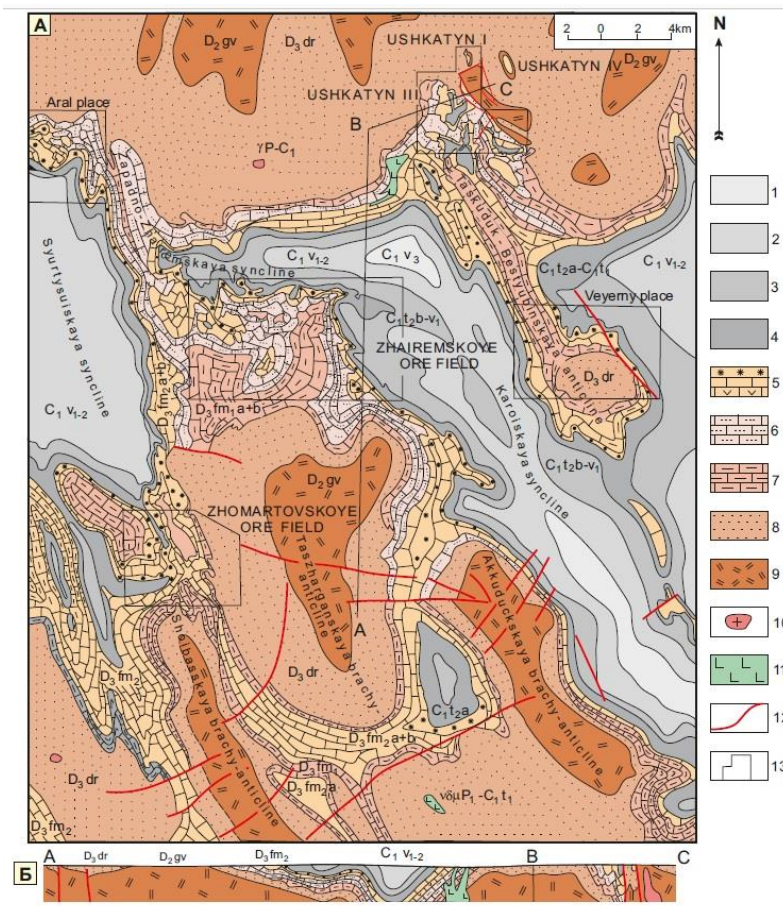


Рис. 2. Схема геологического строения месторождения Жомарт (по Рожнов, Бузмаков, 1970, из: Atlas..., 2004).

Продуктивная пачка располагается в пределах кремнисто-карбонатных пород фаменского возраста. Она сложена пласто- и линзообразными телами, хорошо выдержанными по мощности, состоящими из руд железа и марганца, на которые наложена сульфидная минерализация. Мощность рудных пластов находится в пределах от 50 до 95 м. Самыми нижними являются марганцеворудные слои, их перекрывают железорудные, в свою очередь перекрывающиеся вновь марганцеворудными слоями. Подстилающие безрудные слои мощностью до 130 м сложены известняками, состоящими преимущественно из кальцита. Для подрудных известняков характерно обилие углистого вещества, за счет чего они получили темно-серую окраску, а также обогащение сульфидами, приуроченное к углисто-графитистым прослоям. От первого марганцеворудного пласта углистые известняки отделены прослоем безугольных светло-серых известняков мощностью от 2 до 6 м, состоящих преимущественно из кальцита. Для них характерны мелкие прослои и стяжения, сложенные крипнокристаллическим и мелкокристаллическим кварцем, и наличие маломощных прослоев кремнисто-туфогенных пород вишневого и бурого цветов с незначительным содержанием окисных соединений марганца и железа. Мощность нижнего марганцеворудного пласта колеблется от

нескольких сантиметров до 3 м. Для него характерна выдержанная тонкослоистая текстура с мощностью прослоев от долей миллиметра до 8 см. Данный пласт перекрывается железорудным пластом мощностью от 1,5 м до 3-6 м. Он состоит из сменяющих друг друга прослоев гематита, яшм и светло-серого известняка. Границы между рудными прослоями и известняками резкие, яшма и гематит образуют либо обособленные микроскопические слойки, либо сгустки и стяжения в тесной ассоциации друг с другом. Первый железорудный пласт перекрывается несколькими сменяющимися друг друга марганцеворудными пластами, между которыми залегают прослои нередко оруденелых карбонатных пород. Их общая мощность составляет около 20 м. Для всех марганцеворудных пластов характерно наличие браунита, манганокальцита, кальциевого родохрозита, родохрозита. Рудные минералы тесно ассоциируют с известково-туфогенными и известковыми породными прослоями. От среднего железорудного пласта нижние марганцеворудные отделяются пластом серых и вишнево-красных известняков мощностью до 10 м. Средний железорудный пласт мощностью до 12 м образует несколько разветвленных обособленных прослоев, разделенных серым известняком. Наиболее распространенная обособленная минеральная ассоциация – кварц-гематитовая. Кварц и гематит образуют микрослойки или пятнистые кварц-гематитовые и гематитовые линзы. Между средним железорудным и верхним марганцеворудным пластом залегают безрудный пласт известняков мощностью до 30 м. Верхний марганцеворудный пласт мощностью от 7 до 30 м сложен чередующимися браунитовыми, манганокальцитовыми и родохрозитовыми прослоями, а также светло-серыми и розоватыми известняками с примесью марганцевого материала (Каюпова, 1974).

**Каражалское месторождение**, открытое в 1931 году, располагается на северном крыле Жаильминского синклиория (рис. 3). Крыло осложнено дополнительной складчатостью второго порядка, которая формирует центральную антиклиналь, западную, северную и восточную синклинали. Кроме того, в районе месторождения наблюдается несколько разрывных нарушений (сбросов и взбросов), имеющих северо-западное или северо-восточное простирания.

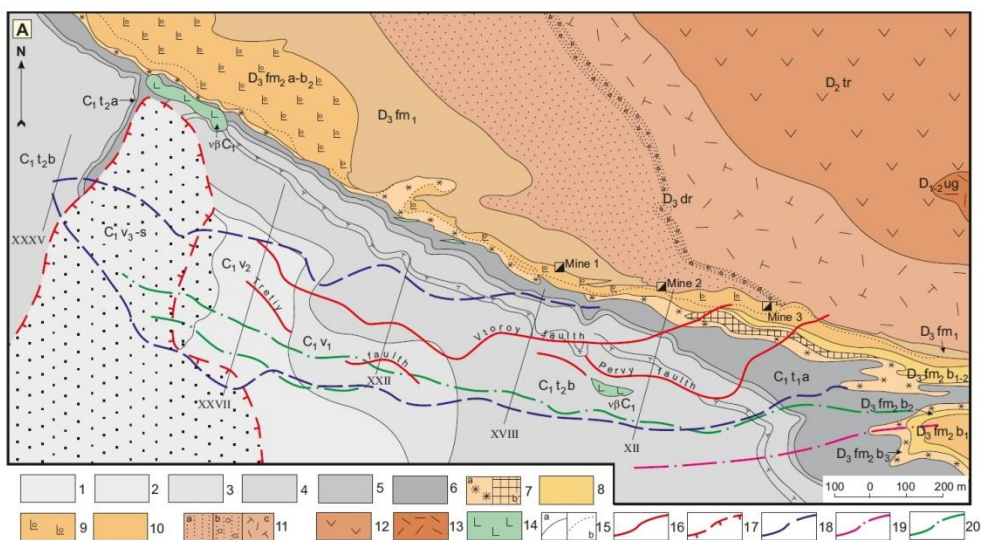


Рис. 3. Схема геологического строения Каражальского месторождения (по Кавун, Орлов, 1989, из: Atlas..., 2004).

Оруденение приурочено к синклиналим структурам. Для данного месторождения оруденение характерно для красноцветных известняков верхнефаменского подъяруса, в которых в подчиненном значении встречаются согласно залегающие пласты и линзообразные тела яшм. Яшмы подстилают, перекрывают или переслаиваются с железными рудами. Мощность известняков, содержащих продуктивную пачку, достигает 180 м, они характеризуются слоистостью – чередованием красновато-серых, розовато-серых, фиолетово-серых карбонатных прослоев (мощностью от 1-2 до 4-6 см) и вишнево-красных глинистых и карбонатно-глинистых прослоев, значительно меньших по мощности (в среднем 1-3 мм). Карбонатные прослои состоят, в первую очередь, из кальцита, содержащего в небольших количествах изоморфные примеси магния и марганца. Кроме того, в них присутствуют гематит, кварцит, халцедон, альбит и др. Красноватые и розоватые тона объясняются наличием дисперсных примесей окислов железа и марганца. Глинистые и карбонатно-глинистые прослои сложены минералами глин и кальцитом с примесью магния и марганца. Красная окраска обусловлена наличием рассеянных примесей окислов железа. Вторичные минералы – кварц, халцедон, серицит, опал, хлорит. Среди данных рудоносных прослоев также встречаются маломощные (1-2 см) прослои и линзы браунита. Яшмы характеризуются сургучно-красными и кирпично-красными оттенками за счет содержания тонкочешуйчатого гематита. Минеральный состав яшм и степень их раскристаллизации зависит от степени проявления контактового метаморфизма, неодинакового на разных участках месторождения. Там, где процессы метаморфизма проявились наиболее интенсивно, наблюдается раскристаллизованный кварц и пластинчатый гематит, иногда переходящий в магнетит, присутствуют пирит,



марказит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, а также отмечается баритизация яшм (вблизи разломов). Там, где процессы метаморфизма проявились слабо, основными минералами являются криптокристаллический кварц и тонкодисперсный гематит.

Продуктивная пачка состоит из марганцеворудных, железорудных и марганцево-железорудных пластов. Марганцевые руды представлены в карбонатной, окисной, окисленной и силикатной формах. Последняя представлена в подчиненном значении; сложены такие руды преимущественно родонитом, в некоторых прослоях встречается гранат, а также наблюдаются секущие кальцитовые, родохрозитовые, баритовые и фриделитовые прожилки, более поздние по отношению к руде. Карбонатные марганцевые руды представлены манганокальцитом, нередко частично замещенным более поздними метаморфогенными родонитом, тефроитом, спессартином, крупнозернистым родохрозитом. Окисные марганцевые руды представлены браунитом (в сочетании с кварцем и кальцитом), гаусманитом и яacobситом. Окисленные марганцевые руды образованы псиломелан-браунитом, псиломелан-гаусманитом и псиломелан-яacobситом. Железные руды представлены в карбонатной, окисной и окисленной формах. Первая распространена мало, образована сидеритом. Железные руды в окисной форме представлены в виде гематита и магнетита, причем гематитовые руды являются главным типом руд Каражальского месторождения. Окисленная форма железных руд представлена мартитом (Калинин, 1964).

## Глава 2. Петрографическая характеристика пород месторождений

### Жомарт и Каражал

Железные руды месторождений Жомарт и Каражал представлены магнетитом и гематитом. Гематитовые руды являются преобладающими в обоих месторождениях. Данная работа посвящена изучению гематитовых руд месторождений Жомарт и Каражал.

#### 2.1. Месторождение Жомарт

Порода состоит из кирпично-красных железо-марганцевых рудных слоев, граничащих со светло-серой карбонатной вмещающей породой. Границы между ними резкие. Для железо-марганцевых рудных слоев характерно внутреннее незакономерное тонкое переслаивание темно-серых, светло-серых, кирпично-красных и вишнево-красных слойков. Наименее мощными (от 2 до 5 мм) являются светло-серые нерудные слойки кварцевого состава. Они сопряжены как с темно-серыми слоями с отчетливо видимым рудным веществом, так и с кирпично-красными слоями. Границы между кварцевыми и рудными слоями резкие. Кирпично-красные слои незакономерно переслаиваются с темно-серыми рудными слоями, образуя как достаточно монотонные слои мощностью до 1 см, так и тонкие слойки (2-3 мм) в массивных (до 6 см) темно-серых слоях. Границы между кирпично-красными и темно-серыми слоями наблюдаются как резкие (преимущественно в областях, где красно-кирпичные слои образуют монотонные прослои), так и размытые (в областях, где отмечаются тонкие красные слойки в темно-сером рудном массиве).

При микроскопическом изучении породы можно выделить следующие особенности. Порода имеет полосчатую текстуру. Рудные слои состоят из незакономерно чередующихся темно-серых (шириной до 0,8 см), вишнево-красных (шириной до 0,8 см) и серых прослоев (шириной до 0,6 см). Границы между вишнево-красными, серыми и темно-серыми прослоями размытые. Рудные слои располагаются в светло-серой вмещающей массе. Границы между ними резкие.

В железо-марганцевых рудных слоях можно видеть как непосредственно рудное вещество, так и кварцевые прослои, которые сложены и тонкозернистым кварцем, и относительно крупными хорошо ограненными кристаллами. Вмещающая порода состоит из тонкозернистой карбонатной массы, в которой встречаются крупные округлые стяжения, заполненные радиально-лучистым кварцем с волнистым погасанием.

Размеры зерен в прослоях тонкозернистого кварца варьируют от 0,02 до 0,12 мм. В данных прослоях можно наблюдать в подчиненном значении относительно более крупные кристаллы карбонатсодержащих минералов (размеры от 0,06 до 0,3 мм). Кроме того, в этих прослоях наблюдается небольшое количество рудного материала,

представленного отдельными мелкими зернами и тонкодисперсным красноватым материалом. Другие прослои сложены относительно крупными кристаллами кварца (размерами от 0,06 до 1,56 мм). Они имеют конформные границы, в них отчетливо наблюдается облачное погасание. В большинстве прослоев мелкие кристаллы кварца сменяются более крупными. Более мелкие кристаллы кварца наблюдаются у границ с рудными полосами. Границы между рудными и кварцевыми прослоями нечеткие, они часто переходят один в другой.

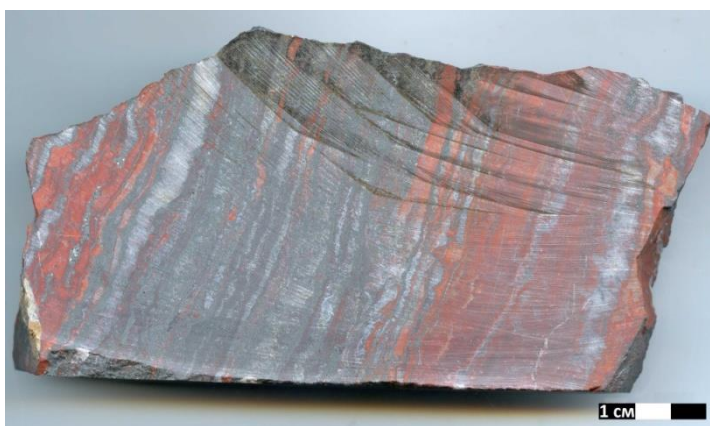
В прослоях, представленных рудным веществом, рудные минералы имеют различную морфологию: одни заполняют пустоты и имеют тонковолокнистое строение, другие представлены хорошо ограненными призматическими кристаллами, в том числе хаотично сросшимися. Также рудный материал наблюдается в тонкодисперсной форме. Кроме того, в рудных прослоях можно наблюдать отдельные области с кварцевыми и карбонатными зернами размерами от 0,06 до 0,14 мм.

Границы между вмещающей карбонатной породой и кварцевыми прослоями резкие, маркируются линейно вытянутыми скоплениями округлых зерен кварца размером от 0,06 до 0,24 мм и относительно более крупных кристаллов карбоната (размером от 0,15 до 0,3 мм), имеющих неправильную форму. Во многих из этих кристаллов также наблюдается полисинтетическое двойникование. Кроме того, вдоль этих границ видны призматические кристаллы рудного минерала. Границы между нерудными и рудными прослоями нечеткие.

Породу пересекает несколько вторичных трещин, заполненных карбонатными минералами. Ширина трещин варьирует от 0,06 до 1,56 мм. Одна из них заполнена рудным веществом, остальные – крупными хорошо ограненными кристаллами карбонатсодержащих минералов. В самой крупной трещине можно видеть округлое стяжение, заполненное радиально-лучистым кварцем.



*Рис. 4. Железо-марганцевые рудные слои во вмещающей карбонатной породе.*



*Рис. 5. Слоистая железо-марганцевая порода.*

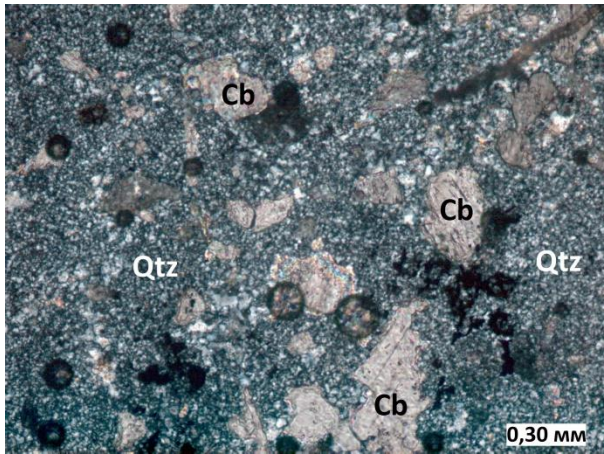


Рис. 6. Тонкозернистый кварц, более крупные кристаллы карбонат содержащих минералов (фото в проходящем свете, с анализатором).

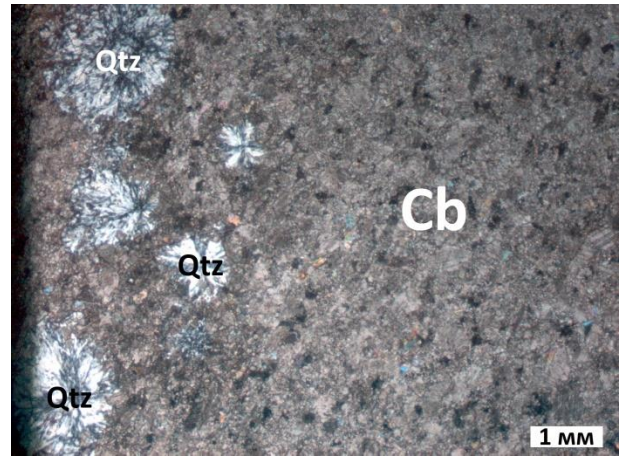


Рис. 7. Мелкозернистая карбонатная масса, округлые кварцевые стяжения (фото в проходящем свете, с анализатором).

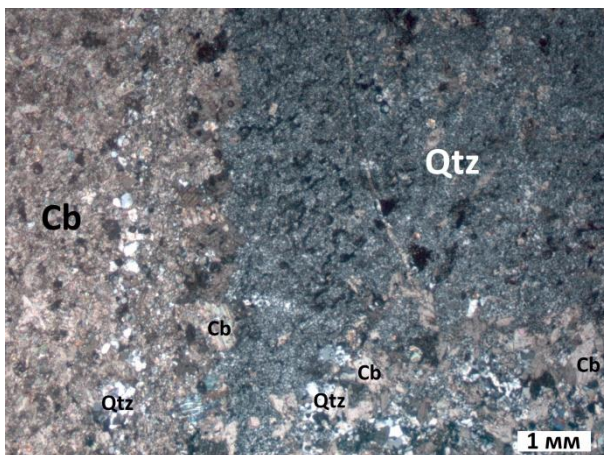


Рис. 8. Граница между вмещающей карбонатной породой и кварцевым прослоем (фото в проходящем свете, с анализатором).

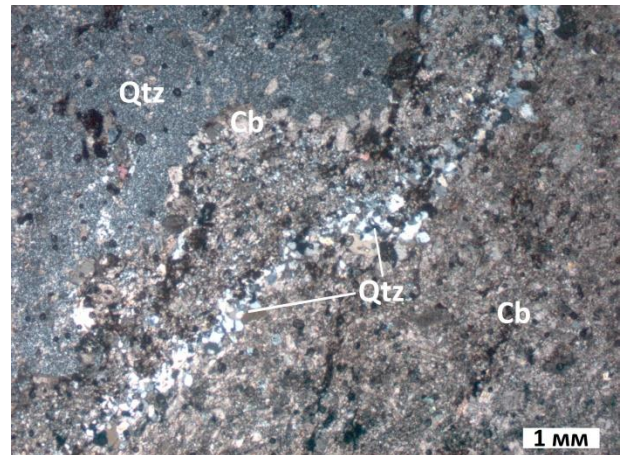


Рис. 9. Граница между карбонатным и кварцевым прослоями, линейно вытянутые скопления зерен кварца и кристаллов карбонатсодержащих минералов (фото в проходящем свете, с анализатором).

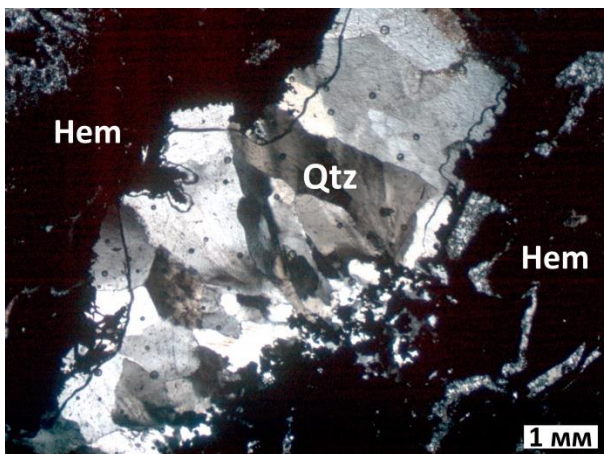


Рис. 10. Крупные кристаллы кварца, переходящие в более мелкие; черное – гематит (фото в проходящем свете, с анализатором).

## 2.2. Месторождение Каражал

Порода представляет собой тонкое переслаивание красных, вишнево-красных, сургучно-красных, темно-серых, коричневых, черных железо-марганцевых слоев и сиреневатых и зеленоватых слоев. Переслаивание неоднородное. Друг друга последовательно сменяют несколько слоев с резкими границами. Можно выделить прослой мощностью около 2 см, представленный тонким переслаиванием коричневых и черных слойков, которое пересекает вертикально и под углом множество прожилков розоватого цвета мощностью от 0,5 до 2 мм. Для следующего слоя мощностью 2,5 см характерна смена кирпично-красного слойка мощностью до 0,6 см несогласными взаимопроникающими вишнево-красными, сиреневатыми и черными слойками с небольшим количеством отчетливо видимого рудного вещества черного цвета. Данный слой сменяется более мощным (4,5 см) слоем, для которого характерны тонкое переслаивание коричнево-красных, сургучно-красных и черных тонких слойков, а также наличие однородного сургучно-красного слоя мощностью 2,5 см. Следующий прослой является относительно менее мощным (около 3 см). Он характеризуется наличием тонкопереслаивающихся красноватых и черных слойков с линзами сиреневато-серого цвета и ясно выделяющегося слоя преимущественно зеленоватого цвета мощностью около 1,5 см с линзами розовато-бежевого и черного цветов. Следующий мощный (около 5 см) слой сходен с вышеописанным мощным слоем. Отличия являются более темные цвета слойков (вишнево-красные и темно-коричневые) и большая выдержанность в переслаивании.

При микроскопическом изучении породы можно выделить следующие особенности. Порода имеет полосчатую текстуру. Прослои имеют мощность от 0,2 до 6,6 мм, хорошо различимы по цвету и соотношению компонентов. Более светлые прослои состоят из тонкозернистых карбонатсодержащих минералов, средний размер которых 0,05 мм. В этих прослоях можно наблюдать зерна кварца преимущественно в подчиненном значении. Соотношение карбонатсодержащих минералов и кварца меняется в пределах одного прослоя от 90:10 до 60:40 соответственно. Размеры зерен кварца в основном не превышают 0,05 мм. Для данных прослоев также характерно отсутствие рудных минералов. В отдельных частях карбонатных прослоев встречаются округлые стяжения размером от 0,06 до 0,18 мм, выполненные тонкокристаллическим кварцем, однако их количество в сравнении с количеством стяжений в ниже описываемых прослоях невелико.

Более темные (красноватые) прослои отличаются в первую очередь наличием рудного минерала черного цвета. Данные прослои отличаются другим соотношением

компонентов – примерно 30:70 (карбонатсодержащие минералы: кварц). Характерная отличительная особенность – наличие большого количества округлых стяжений размерами от 0,06 до 0,27 мм. Наблюдается три типа стяжений: выполненные только тонкокристаллическим кварцем, выполненные только карбонатными минералами и выполненные и карбонатными минералами, и кварцем (в последнем случае центр стяжения, как правило, заполнен карбонатными минералами, а края – кварцем). Стяжения, выполненные карбонатными минералами и выполненные и карбонатными минералами, и кварцем, преобладают. Кристаллы карбоната в стяжениях хорошо ограненные, в некоторых можно видеть полисинтетическое двойникование. На некоторых стяжениях можно наблюдать вторичные изменения – хлорит. В отдельных прослоях наблюдается следующая закономерность: ближе к светлым прослоям, где основными минералами являются карбонатные минералы, стяжения менее крупные и заполнены карбонатом, в темных прослоях с большим количеством рудных минералов стяжения более крупные и заполнены преимущественно тонкокристаллическим кварцем.

В породе наблюдаются отдельные органические остатки, замещенные халцедоном. Их длина в среднем составляет 1,6 мм, ширина – 0,3 мм.

Породу пересекает множество вторичных трещин, заполненных карбонатными минералами. Они имеют хорошую огранку; размеры кристаллов варьируют от 0,06 до 0,18 мм.



*Рис. 11. Слоистая железо-марганцевая порода.*

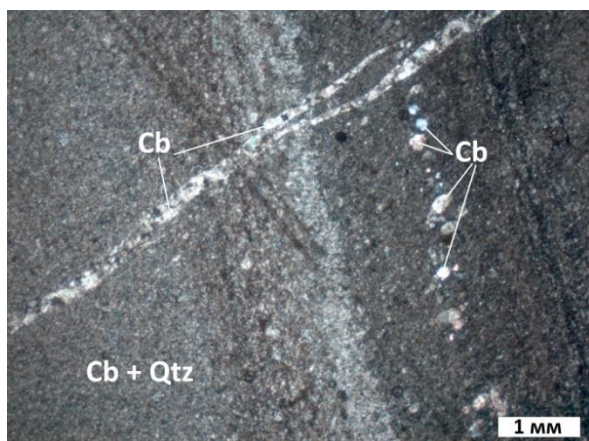


Рис. 12. Полосчатая текстура породы; округлые стяжения, заполненные карбонатсодержащими минералами; трещина, залеченная карбонатсодержащими минералами (фото в проходящем свете, с анализатором).

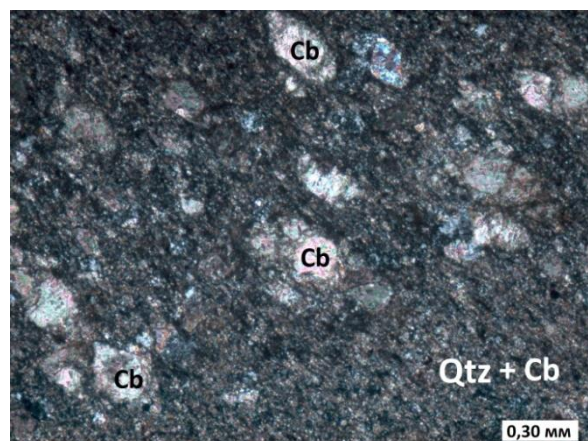


Рис. 13. Округлые стяжения в кварцевой массе, заполненные карбонатсодержащими минералами (фото в проходящем свете, с анализатором).

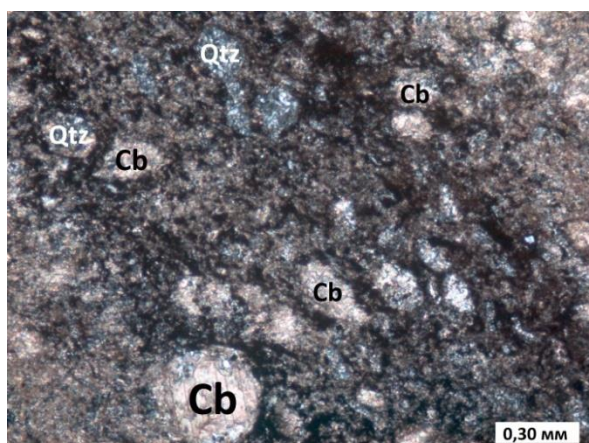


Рис. 14. Округлые стяжения, заполненные карбонатсодержащими минералами и кварцем (фото в проходящем свете, с анализатором).

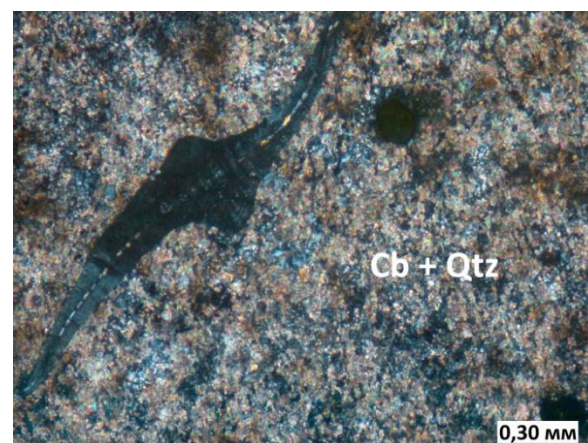


Рис. 15. Органический остаток, замещенный халцедоном (фото в проходящем свете, с анализатором).

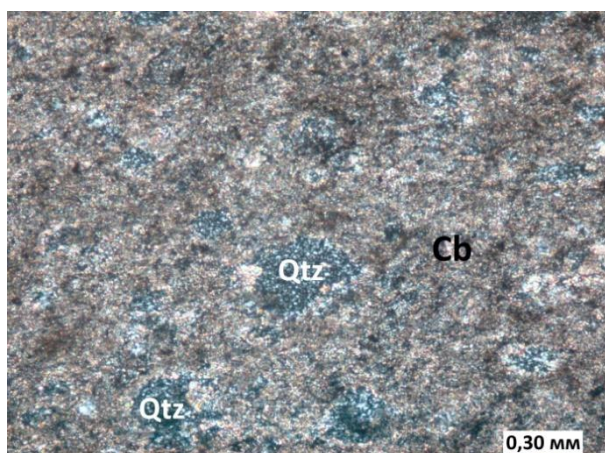


Рис. 16. Округлые стяжения, заполненные кварцем, в карбонатной основной массе (фото в проходящем свете, с анализатором).

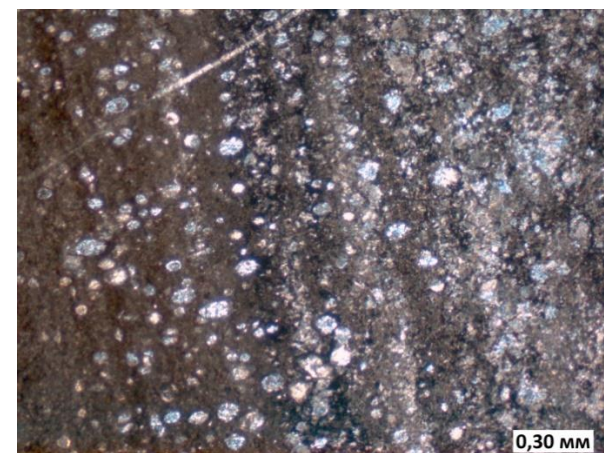


Рис. 17. Полосчатая текстура породы; округлые стяжения, заполненные кварцем и карбонатсодержащими минералами (фото в проходящем свете, с анализатором).

### Глава 3. Минералогический состав пород месторождений Жомарт и Каражал

Главными породообразующими минералами месторождений Жомарт и Каражал являются минералы группы кальцита, гематит и кварц. Породообразующие и основные второстепенные минералы, их формулы и принятые в настоящей работе сокращения названий минералов приведены в таблице 1. Типичные химические анализы породообразующих и второстепенных минералов, полученные путем энерго-дисперсионного анализа, приведены после характеристики каждого минерала.

Табл. 1. Общй минералогический состав месторождений Каражал и Жомарт

Минерал	Формула	Сокраще- ние наз- вания	Наличие минерала	
			Месторождение Каражал	Месторождение Жомарт
Оксиды				
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Hem	+	+
Кварц	$\text{SiO}_2$	Qtz	+	+
Рутил	$\text{TiO}_2$	Rt	+	-
Силикаты и алюмосиликаты				
Аксинит-(Mn)	$\text{Ca}_4\text{Mn}_2^{2+}\text{Al}_4[\text{B}_2\text{Si}_8\text{O}_{30}](\text{OH})_2$	Axn	+	-
Альбит	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	Ab	+	-
Родонит	$\text{CaMn}_4(\text{Si}_5\text{O}_{15})$	Rdn	+	-
Спессартин	$\text{Mn}_3^{2+}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	Sps	+	-
Фриделит	$\text{Mn}_8^{2+}\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH},\text{Cl})_{10}$	Frd	+	-
Железистый клинохлор	$(\text{Mg},\text{Fe}^{3+}\text{Al})_6[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	Chl	+	-
Фосфаты				
Апатит-(F)	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	Ap	+	-
Сульфаты				
Барит	$\text{Ba}(\text{SO}_4)$	Brt	+	-
Карбонаты				
Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$	Cal	+	+
Родохрозит	$\text{Mn}(\text{CO}_3)$	Rds	+	-
Синхизит-(Ce)	$\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$	Syn	+	-
Арсенаты				
Тилазит	$\text{CaMg}(\text{AsO}_4)\text{F}$	Tls	+	-



### 3.1. Породообразующие минералы

Породообразующими минералами обоих месторождений являются гематит, кварц и кальцит. Данные минералы по-разному соотносятся в железных рудах месторождений. Так, гематит в исследуемых породах Каражальского месторождения составляет 30% от всей массы породы, кварц и кальцит – по 35%. В породах месторождения Жомарт гематит составляет 55% от всей массы породы, кварц и кальцит – 30 и 15% соответственно. Ниже данные минералы будут рассмотрены подробнее.

#### 3.1.1. Гематит – $Fe_2O_3$

Гематит в породах **Каражальского месторождения** составляет около 30% от всей массы породы и представлен в виде отдельных рассеянных в породе вытянутых призматических кристаллов, но чаще – в виде неправильной формы сростков с кальцитом и кварцем (рис. 18). В породах **месторождения Жомарт** гематит является более значимым минералом, составляя около 55% от всей массы породы. Гематит представлен в виде крупных вытянутых призматических кристаллов, как правило, срастающихся друг с другом, размерами от 100 до 250 мкм. Нередко окружен кварцевой «рубашкой» (рис. 19). Химический состав гематита обоих месторождений представлен в таблице 2. Для гематита Каражальского месторождения характерно наличие примесей марганца и титана, в месторождении Жомарт таких примесей не наблюдается.

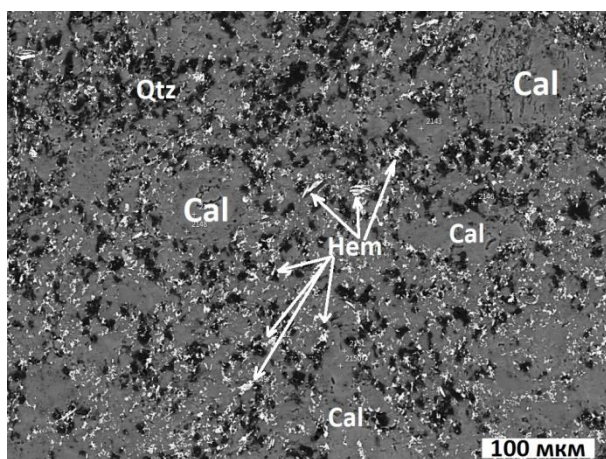


Рис. 18. Мелкие сростки гематита с кварцем и кальцитом (месторождение Каражал) (фото РЭМ).

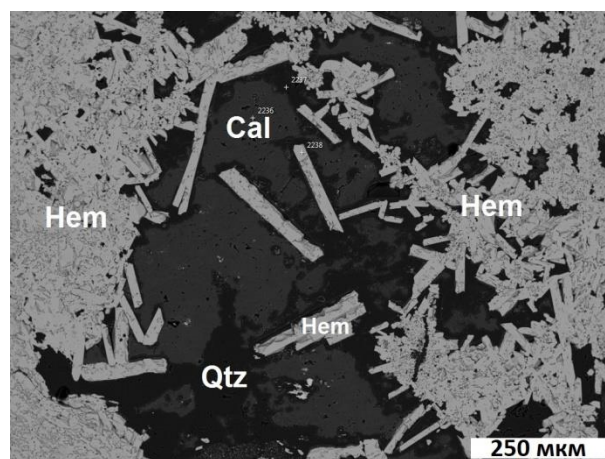


Рис. 19. Вытянутые призматические кристаллы гематита в кварцевой «рубашке» (месторождение Жомарт) (фото РЭМ).

Табл. 2. Химический состав гематита месторождений Каражал и Жомарт (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

	Месторождение Каражал				Месторождение Жомарт			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	91,76	95,48	96,68	96,29	100,00	100,00	100,00	100,00
MnO	4,82	2,48	1,84	2,01	—	—	—	—
TiO <sub>2</sub>	3,42	2,04	1,46	1,70	—	—	—	—
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

### 3.1.2. Кварц – SiO<sub>2</sub>

**Кварц** в породах **Каражальского месторождения** составляет около 35% от всей массы породы и образует микрозернистые сложные незакономерные сростания с кальцитом, формируя основную кварц-кальцитовую массу породы. Реже он выполняет округлые стяжения, либо заполняя их целиком, либо образуя в них сростания с кальцитом или фриделитом. В последних ядро стяжения представлено кварцем, а внешняя часть – кальцитом или фриделитом (рис. 20, 21). Легко узнается по слабой шагреновой поверхности, низкому положительному рельефу, серым цветам интерференции. Дифрактограмма кварца Каражальского месторождения близка к эталонным данным для кварца (эталон 01-087-2096) (табл. 3, см. рис. 29).

Табл. 3. Результаты расчета рентгенофазового анализа кварца

Образец		Эталон 01-087-2096				
d	I	d	I	h	k	l
4,26	22,0	4,26	20,6	1	0	0
3,35	100,0	3,34	100,0	0	1	1
2,28	5,9	2,28	6,3	1	0	2
2,24	3,1	2,24	2,8	1	1	1
2,13	3,7	2,13	4,5	2	0	0
1,98	2,3	1,98	2,6	2	0	1
1,82	6,5	1,82	10,3	1	1	2
1,81	1,5	1,80	0,3	0	0	3
1,67	1,9	1,67	2,8	0	2	2
1,54	5,2	1,54	6,3	1	2	1
1,38	2,9	1,38	3,5	1	2	2
1,38	4,2	1,37	2,7	0	3	1

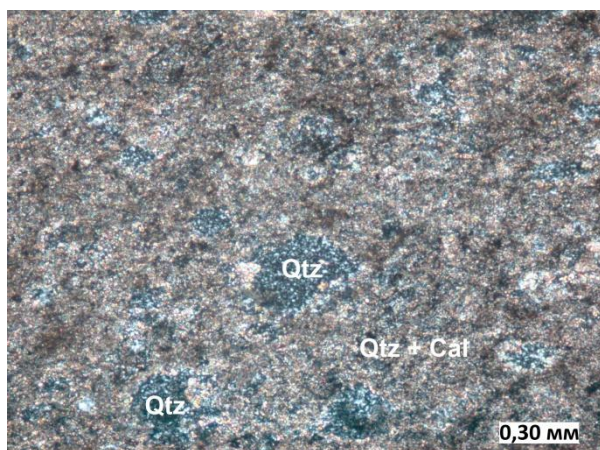


Рис. 20. Округлые стяжения, выполненные кварцем, в кварц-кальцитовой основной массе (фото в проходящем свете, с анализатором).

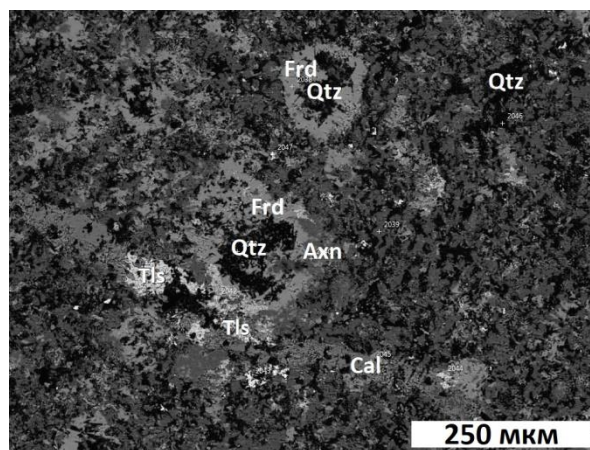


Рис. 21. Округлые стяжения с кварцевыми ядрами и фриделитовой оболочкой; кварц-кальцитовая основная масса (фото РЭМ).

**Кварц** в породах месторождения **Жомарт** составляет около 30% от всей массы породы и образует как микрозернистые сложные незакономерные сростания с кальцитом, так и формирует отдельные прослои среди гематитовых прослоев. В последних кварц образует хорошо сформированные кристаллы, имеющие конформные границы, с ярко выраженным волнистым погасением и серыми цветами интерференции (рис. 22, 23). Кроме того, во вмещающей породе кварц образует редкие радиально-лучистые стяжения, в которых имеет волнистое погасение (см. рис. 7).

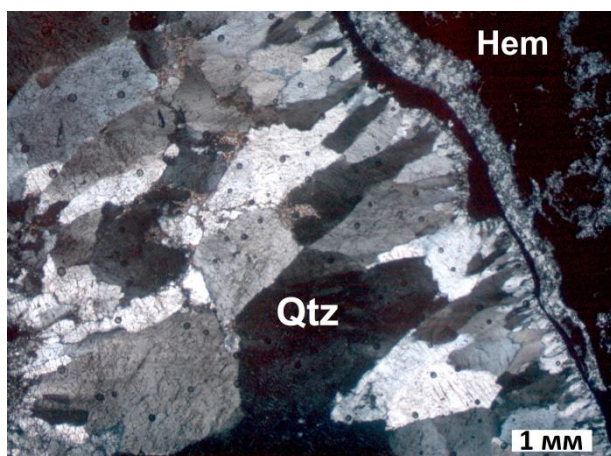


Рис. 22. Крупные кристаллы кварца (фото в проходящем свете, с анализатором).

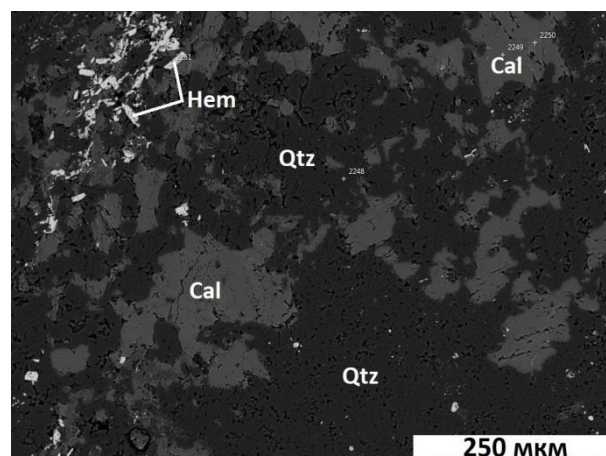


Рис. 23. Незакономерные сростания кальцита и кварца (фото РЭМ).

### 3.1.3. Карбонатсодержащие минералы – $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ , $\text{Mn}(\text{CO}_3)$ , $\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$

В породах **Каражальского** месторождения карбонатсодержащие минералы представлены кальцитом, родохрозитом, а также синхизитом-(Ce).

**Кальцит** составляет около 35% всей породы. Он образует сложное незакономерное мелкозернистое сростание с кварцем и в большинстве случаев не имеет ярко выраженных

морфологических особенностей (рис. 24, 25). Исключение составляют участки, в которых кальцит выполняет округлые стяжения (рис. 26, 27). Здесь у минерала наблюдается отчетливая спайность по ромбоэдру, а также полисинтетические двойники. Хорошо различим за счет перламутровых цветов интерференции и резкой шагрени. **Родохрозит** встречается только во вторичных трещинах, которые он выполняет (рис. 28).

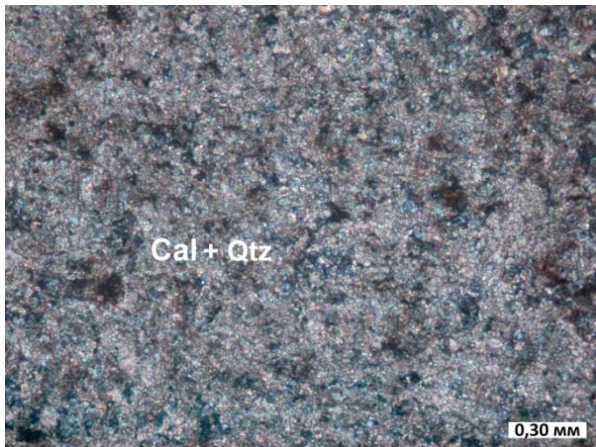


Рис. 24. Кварц-кальцитовая масса (фото в проходящем свете, с анализатором).

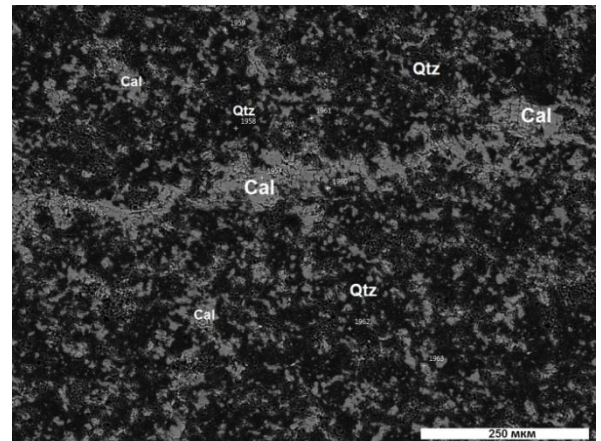


Рис. 25. Срастание кварца и кальцита (фото РЭМ).

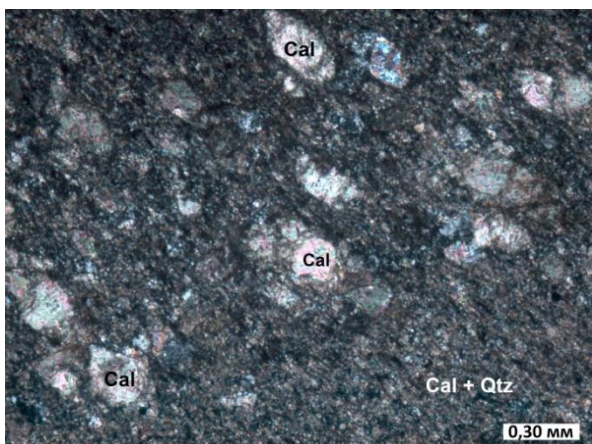


Рис. 26. Кварц-кальцитовая масса, округлые стяжения, заполненные кальцитом (фото в проходящем свете, с анализатором).

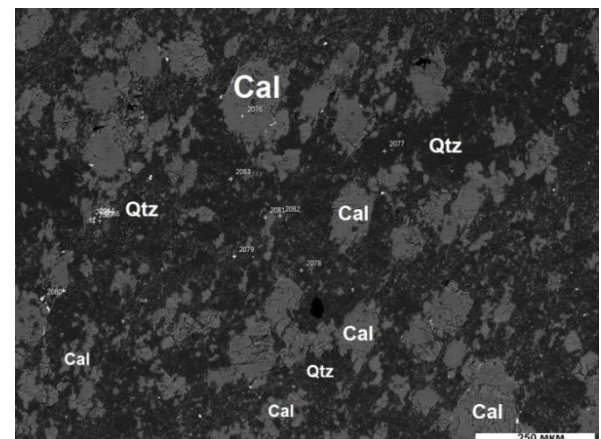


Рис. 27. Округлые кальцитовые стяжения, срастания кварца и кальцита (фото РЭМ).

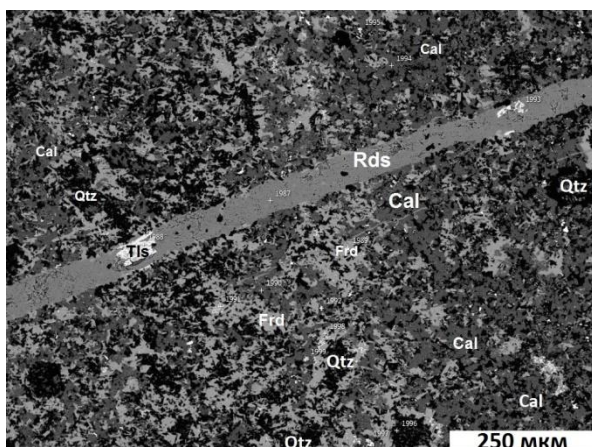


Рис. 28. Родохрозит, выполняющий вторичную трещину; фриделит-кварц-кальцитовое срастание (фото РЭМ).

Химический состав кальцита и родохрозита представлен в таблицах 5 и 6. Кальцит в большинстве случаев имеет существенные изоморфные примеси марганца (от 0,10 до 0,37 ф.е), родохрозит – кальция (до 0,27 ф.е.). Примерно третья часть кальцита имеет, помимо значительной изоморфной примеси марганца, изоморфную примесь железа в малых количествах (в среднем около 0,01 ф.е.), а две трети – и изоморфную примесь магния (также в среднем около 0,01 ф.е.). В родохрозите также наблюдается незначительная изоморфная примесь магния (не более 0,02 ф.е.).

Дифрактограмма кальцита Каражальского месторождения близка к эталонным данным для кальцита (эталон 01-086-2336) (табл. 4, рис. 29).

Табл. 4. Результаты расчета рентгенофазового анализа кальцита

Образец		Эталон 01-086-2336				
d	I	d	I	h	k	l
3,82	11,5	3,81	7,9	0	1	2
2,99	100,0	2,99	100,0	1	0	4
2,80	1,8	2,80	2,2	0	0	6
2,46	14,2	2,46	13,3	1	1	0
2,26	8,8	2,26	19,9	1	1	3
2,07	10,6	2,07	14,2	2	0	2
1,89	2,8	1,90	6,3	0	2	4
1,88	10,5	1,89	17,8	0	1	8
1,85	8,7	1,85	18,5	1	1	6
1,61	1,5	1,60	3,2	2	1	11
1,59	3,5	1,59	8,3	1	2	2
1,51	3,2	1,51	4,7	2	1	4
1,43	1,7	1,43	5,8	3	0	0

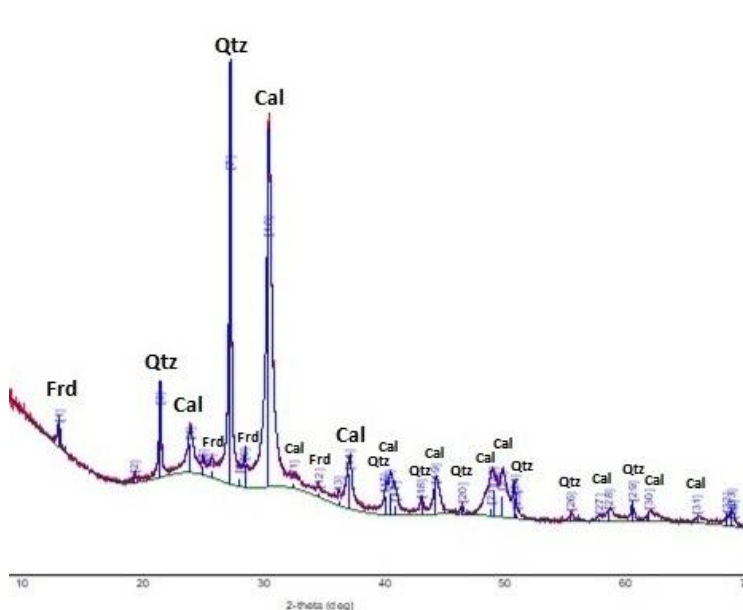


Рис. 29. Рентгенограмма участка породы (светлых прослоев) Каражальского месторождения.

Табл. 5. Химический состав кальцита из Каражальского месторождения (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
FeO	—	—	—	—	—	—	0,43	0,59	0,38	—	—	0,74	0,53	—	—
MnO	13,01	18,06	17,00	15,99	17,68	18,13	11,32	17,47	10,43	8,51	27,98	15,74	18,49	16,50	11,66
MgO	—	0,39	0,39	0,30	0,43	0,53	—	0,64	0,46	1,20	1,76	0,46	0,44	—	—
CaO	54,59	49,45	50,44	51,47	49,75	49,23	55,77	49,16	56,11	57,43	38,68	50,84	48,50	51,34	55,84
CO <sub>3</sub> <sup>расч</sup>	32,40	32,10	32,17	32,24	32,13	32,11	32,49	32,13	32,61	32,87	31,58	32,22	32,04	32,16	32,50
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле															
Fe	—	—	—	—	—	—	0,01	0,01	0,01	—	—	0,01	0,01	—	—
Mn	0,16	0,22	0,21	0,20	0,22	0,22	0,14	0,21	0,13	0,10	0,35	0,19	0,23	0,20	0,14
Mg	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	—	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	—	—
Ca	0,84	0,77	0,78	0,80	0,77	0,77	0,86	0,76	0,86	0,87	0,61	0,79	0,76	0,80	0,86
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>0,99</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>С</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Коэффициенты в формуле															
Fe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	0,21	0,29	0,36	0,37	0,32	0,33	0,19	0,24	0,28	0,29	0,28	0,31	0,09	0,11	0,01
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	—	0,01	—	0,01	0,02	0,01	—	0,02	0,01	—	0,06
Ca	0,78	0,70	0,63	0,62	0,68	0,66	0,81	0,76	0,71	0,70	0,72	0,67	0,90	0,89	0,62
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>С</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Компонент	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
FeO	—	0,70	0,60	1,01	1,33	0,95	0,51	0,94	0,48	0,58	—
MnO	15,51	14,07	12,94	7,42	8,11	14,12	10,22	16,32	17,10	26,66	9,22
MgO	—	—	—	0,35	0,54	0,43	0,57	—	0,32	0,64	—
CaO	52,26	52,96	54,09	58,45	57,29	52,18	56,07	50,64	49,98	40,62	58,11
CO <sub>3</sub> <sup>расч</sup>	32,23	32,28	32,36	32,76	32,72	32,31	32,63	32,10	32,13	31,49	32,67
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле											
Fe	—	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	—
Mn	0,19	0,17	0,16	0,09	0,10	0,17	0,12	0,20	0,21	0,33	0,11
Mg	—	—	—	0,01	0,01	0,01	0,01	—	0,01	0,01	—
Ca	0,81	0,82	0,83	0,89	0,87	0,81	0,86	0,79	0,78	0,64	0,89
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>
<b>С</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Компонент	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
FeO	—	—	—	1,24	—	—	—	—	0,64	—	1,06
MnO	30,28	27,98	27,63	24,90	10,95	17,00	18,99	10,98	17,00	16,25	18,50
MgO	0,64	0,67	0,63	1,24	0,93	0,43	0,42	1,39	0,56	0,39	0,47
CaO	37,80	37,91	40,28	40,98	55,46	50,40	48,54	54,90	49,64	51,13	47,98
CO <sub>3</sub> <sup>расч</sup>	31,28	31,44	31,46	31,64	32,67	32,18	32,04	32,72	32,15	32,23	32,00
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле											
Fe	—	—	—	0,02	—	—	—	—	0,01	—	0,01
Mn	0,38	0,35	0,35	0,31	0,13	0,21	0,23	0,13	0,21	0,20	0,23
Mg	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
Ca	0,60	0,63	0,64	0,65	0,85	0,78	0,76	0,84	0,77	0,79	0,75
<b>Сумма</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>С</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Табл. 6. Химический состав родохрозита из Каражальского месторождения (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

Компонент	1	2	3	4	5	6
FeO	—	—	—	—	—	—
MnO	57,79	60,8	57,93	57,80	58,27	54,09
MgO	0,48	—	0,78	0,78	0,69	0,51
CaO	12,38	10,14	11,92	12,03	11,70	15,80
CO <sub>3</sub> <sup>расч</sup>	29,34	29,07	29,37	29,38	29,33	29,60
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле						
Fe	—	—	—	—	—	—
Mn	0,78	0,83	0,78	0,78	0,78	0,72
Mg	0,01	—	0,02	0,02	0,02	0,01
Ca	0,21	0,17	0,20	0,20	0,20	0,27
<b>Сумма</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>C</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

В породах месторождения **Жомарт** минералы группы кальцита представлены только **кальцитом**. Он составляет около 15% от всей массы породы. Выполняет отдельные округлые стяжения в преимущественно кварцевой массе, а также образует сложные сростания с кварцем и гематитом. В округлых стяжениях у кристаллов видна отчетливая спайность по ромбоэдру, а также полисинтетическое двойникование. В шлифе хорошо отличим по перламутровым цветам интерференции и резкой шагрени (рис. 30, 31).

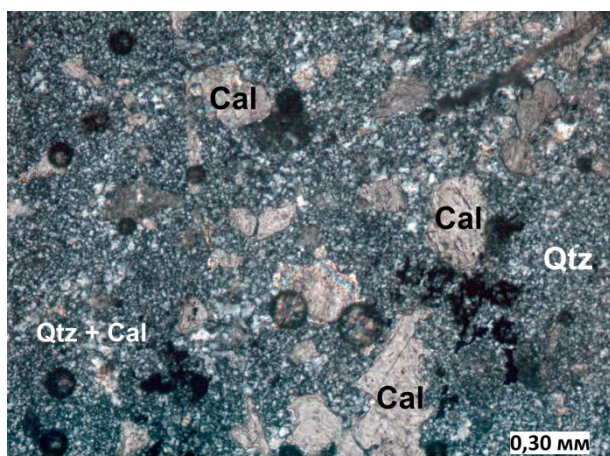


Рис. 30. Округлые стяжения, выполненные кальцитом; кварцевая основная масса (фото в проходящем свете, с анализатором).

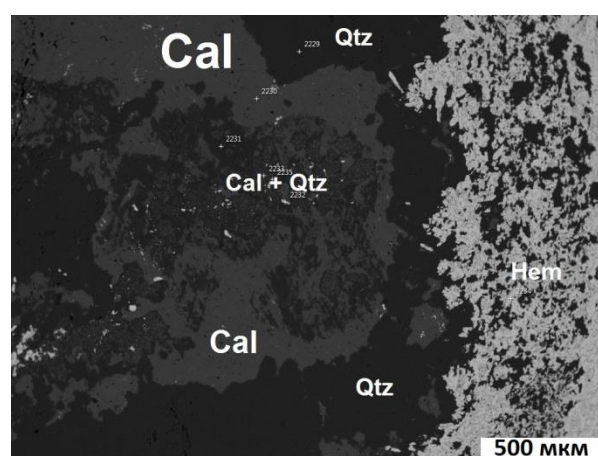


Рис. 31. Кальцит, кварц и их сростание (фото РЭМ).

Химический состав кальцита представлен в таблице 7. Большая часть кальцита имеет незначительные изоморфные примеси марганца и магния (от 0,01 до 0,07 ф.е.), около половины – железа (в среднем не более 0,01 ф.е.). Кроме того, редко встречаются незначительные изоморфные примеси цинка.



Табл. 7. Химический состав кальцита из месторождения Жомарт (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FeO	—	0,51	1,53	0,77	0,77	0,69	—	—	—	—	—
MnO	0,42	1,28	0,63	4,35	3,67	3,05	—	6,22	2,56	2,74	5,47
MgO	—	—	—	0,78	0,59	0,94	0,62	0,36	1,03	0,74	0,30
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CaO	66,30	65,03	64,69	60,93	61,89	62,16	65,99	60,50	63,15	63,31	61,26
CO <sub>3</sub> <sup>расч</sup>	33,28	33,18	33,15	33,04	33,07	33,17	33,39	32,92	33,26	33,21	32,97
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле											
Fe	—	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	—	—	—	0,03	—
Mn	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04	0,04	—	0,07	0,03	0,02	0,07
Mg	—	—	—	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	—	0,01
Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca	0,99	0,97	0,97	0,92	0,93	0,94	0,99	0,92	0,95	0,95	0,93
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,99</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>
<b>С</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Компонент	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
FeO	—	0,57	0,67	—	0,41	0,51	—	—	—	—	
MnO	0,53	4,44	4,61	4,42	4,30	3,21	6,41	1,94	0,42	1,01	
MgO	0,87	0,80	0,54	0,92	0,76	1,01	0,42	0,75	1,91	0,75	
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	—	0,72	—	
CaO	65,21	61,14	61,17	61,54	61,44	62,09	60,25	64,05	63,66	64,90	
CO <sub>3</sub> <sup>расч</sup>	33,39	33,06	33,01	33,12	33,08	33,18	32,92	33,27	33,29	33,34	
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	
Коэффициенты в формуле											
Fe	—	0,01	0,01	—	0,01	—	—	—	—	—	
Mn	0,01	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,08	0,02	0,01	0,01	
Mg	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	
Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	—	
Ca	0,98	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,91	0,96	0,95	0,97	
<b>Сумма</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>0,99</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>	<b>1,00</b>	
<b>С</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	

Вариации химического состава минералов группы кальцита обоих месторождений представлены на рисунке 32. Отчетливо видно различие между ними: кальцит месторождения Жомарт преимущественно не имеет существенных примесей марганца и магния, кальцит же Каражальского месторождения можно назвать манганокальцитом из-за существенной примеси марганца.

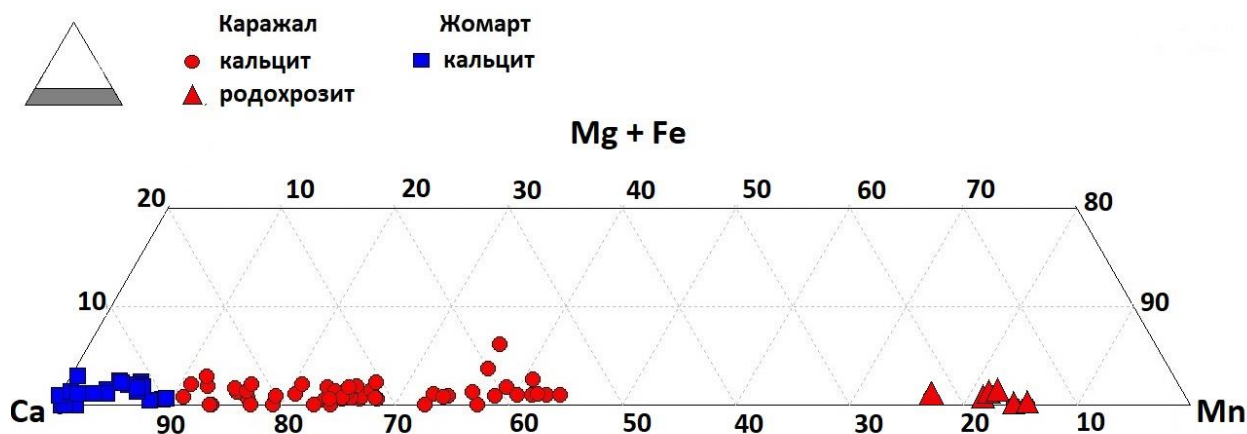


Рис. 32. Вариации химического состава минералов группы кальцита месторождений Жомарт и Каражал.

Также в этом разделе необходимо отметить наличие в породах **Каражальского месторождения** минерала **синхизита-(Ce)**. Его содержание в породе невелико, и его можно отнести к второстепенным минералам, однако для полной характеристики карбонатсодержащих минералов его характеристика будет приведена здесь. В железных рудах Каражальского месторождения был диагностирован впервые.

**Синхизит-(Ce)** представляет собой карбонат церия и кальция с дополнительными анионами фтора –  $\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$ . В рассматриваемой породе встречается в виде отдельных редких сростаний с кальцитом. Не имеет ярко выраженных морфологических особенностей, выделения мелкие (рис. 33). Химический состав приведен в таблице 8. В позиции кальция в большинстве случаев наблюдается изоморфная примесь железа (в среднем около 0,20 ф.е.), в отдельных случаях – незначительная изоморфная примесь магния. В позиции церия главным элементом является непосредственно церий, вторым является лантан, третьим – неодим. Кроме того, в данной позиции наблюдается незначительная изоморфная примесь иттрия; редко встречаются еще менее значительные примеси празеодима, саммария и гадолиния (0,05 ф.е.). В некоторых случаях отмечается пониженное содержание фтора.

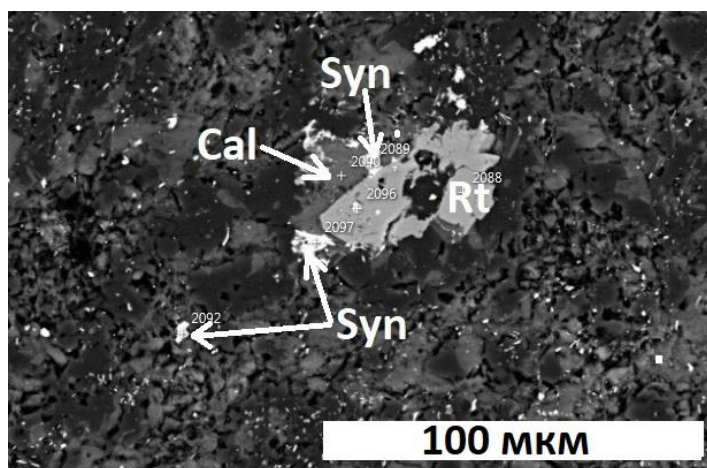


Рис. 33. Мелкие выделения синхизита-(Ce) (фото РЭМ)

Табл. 8. Химический состав синхизита из Каражальского месторождения (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

Компонент	1	2	3	4	5
FeO	3,43	—	4,67	2,01	5,97
MgO	—	—	—	1,04	—
CaO	15,78	19,68	14,47	22,15	14,25
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,81	27,28	27,62	24,61	25,53
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,69	18,37	15,22	15,54	10,46
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,15	6,78	8,88	6,14	9,54
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,27	3,24	4,1	3,46	3,5
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	2,34
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	2,6
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	2,23
CO <sub>3</sub> расч	18,85	19,57	18,87	21,33	19,22
F	5,33	5,16	6,17	3,71	4,36
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициент в формуле					
Fe	0,14	—	0,19	—	0,24
Mg	—	—	—	0,07	—
Ca	0,82	1	0,77	1,08	0,74
<b>Сумма</b>	<b>0,96</b>	<b>1</b>	<b>0,96</b>	<b>1,15</b>	<b>0,98</b>
Ce	0,49	0,48	0,5	0,41	0,45
La	0,30	0,32	0,28	0,26	0,19
Nd	0,21	0,12	0,16	0,10	0,17
Y	0,03	0,08	0,11	0,08	0,09
Pr	—	—	—	—	0,04
Sm	—	—	—	—	0,04
Gd	—	—	—	—	0,04
<b>Сумма</b>	<b>1,03</b>	<b>1,00</b>	<b>1,05</b>	<b>0,85</b>	<b>1,02</b>
<b>C</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>
F	0,83	0,78	0,96	0,51	0,67
OH	0,17	0,22	0,04	0,49	0,33
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Обобщенный химический состав синхизита-(Ce) представлен на рисунке 34. Можно видеть, что синхизит железных руд Каражальского месторождения действительно является цериевым синхизитом.

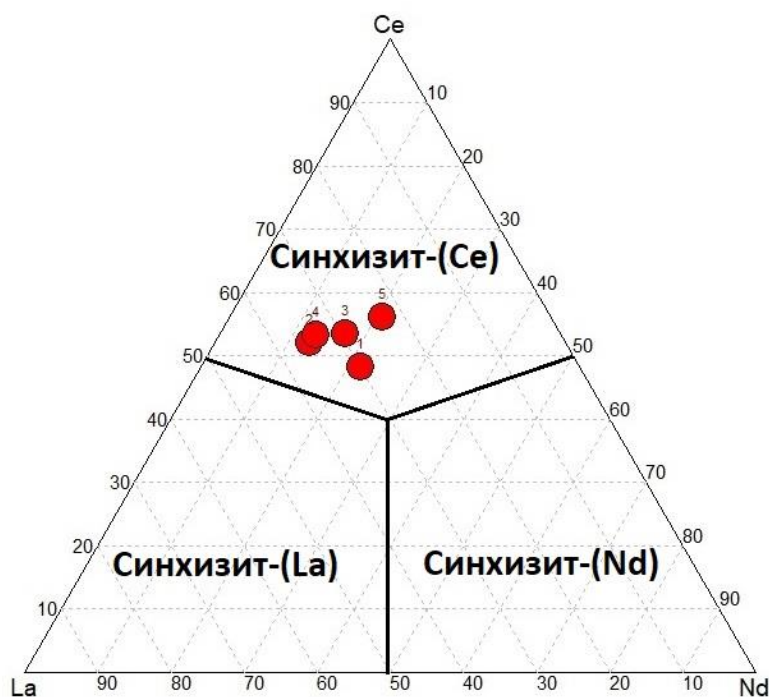


Рис. 34. Обобщенный химический состав синхизита-(Ce) железных руд Каражальского месторождения.

### 3.2. Второстепенные минералы

В изученных железных рудах месторождения Жомарт кроме породообразующих минералов (гематита, кварца, кальцита) не было обнаружено второстепенных минералов.

В изученных железных рудах Каражальского месторождения было обнаружено девять второстепенных минералов и два акцессорных минерала.

#### 3.2.1. Фриделит – $Mn_8^{2+}Si_6O_{15}(OH,Cl)_{10}$

Главным второстепенным минералом является фриделит (листовой силикат марганца). В изучаемых породах он образует как незакономерные сростания с кальцитом и кварцем (рис. 37), так и формирует внешнюю часть округлых стяжений с кварцевым ядром (рис. 38). Кроме того, в некоторых участках породы он целиком слагает округлые стяжения или выполняет вторичные жилы в сростании с родонитом и тилазитом или аксинитом (рис. 39). Химический состав приведен в таблице 9. Для позиции магния характерна небольшая изоморфная примесь марганца, встречающаяся повсеместно, а также ничтожная примесь кальция. Изоморфная примесь железа, напротив, не характерна. В анионной позиции над хлором преобладает группа OH. Порошковые рентгенограммы фриделита Каражальского месторождения близки к эталонным данным для этого минерала (00-035-0572) (табл. 10; см. рис. 29).

Табл. 9. Химический состав фриделита из Каражальского месторождения (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	34,83	34,72	35,79	35,15	34,81	35,31	35,09	34,28	35,88	35,77	34,90	35,11
FeO	—	—	—	—	—	—	—	1,29	—	—	—	—
MnO	52,95	53,08	52,67	52,93	53,22	53,35	52,59	51,94	52,44	52,79	52,47	52,88
MgO	1,04	1,20	1,15	1,06	1,17	1,03	1,08	0,96	0,96	0,99	1,06	1,20
CaO	0,17	—	0,19	—	0,35	0,22	0,78	0,21	0,30	0,44	0,19	0,79
Cl	3,07	3,05	1,84	2,85	2,24	1,71	2,24	3,54	2,20	1,57	3,61	1,58
H <sub>2</sub> O <sub>расч</sub>	7,07	7,85	8,35	8,01	8,21	8,38	8,22	7,77	8,23	8,43	7,77	8,44
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 14 катионов												
<b>Si</b>	<b>5,99</b>	<b>5,97</b>	<b>6,09</b>	<b>6,03</b>	<b>5,94</b>	<b>6,01</b>	<b>5,99</b>	<b>5,92</b>	<b>6,12</b>	<b>6,08</b>	<b>6,02</b>	<b>5,96</b>
Fe	—	—	—	—	—	—	—	0,19	—	—	—	—
Mn	7,71	7,73	7,59	7,70	7,70	7,69	7,60	7,60	7,58	7,59	7,67	7,60
Mg	0,27	0,31	0,29	0,27	0,30	0,26	0,27	0,25	0,24	0,25	0,27	0,30
Ca	0,03	—	0,04	—	0,06	0,04	0,14	0,04	0,06	0,08	0,04	0,14
<b>Сумма</b>	<b>8,01</b>	<b>8,04</b>	<b>7,92</b>	<b>7,97</b>	<b>8,06</b>	<b>7,99</b>	<b>8,01</b>	<b>8,08</b>	<b>7,88</b>	<b>7,92</b>	<b>7,98</b>	<b>8,04</b>
<b>O</b>	<b>14,99</b>	<b>14,98</b>	<b>15,10</b>	<b>15,03</b>	<b>14,94</b>	<b>15,01</b>	<b>14,99</b>	<b>14,73</b>	<b>15,12</b>	<b>15,08</b>	<b>15,02</b>	<b>14,96</b>
Cl	0,89	0,89	0,53	0,83	0,65	0,49	0,65	1,04	0,63	0,45	1,06	0,45
OH	9,11	9,13	9,45	9,15	9,35	9,51	9,35	8,92	9,35	9,50	8,96	9,53
<b>Сумма</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>

Табл. 10. Результаты расчета рентгенофазового анализа фриделита

Образец		Эталон 00-035-0572				
d	I	d	I	h	k	l
7,15	100	7,17	100	0	0	1
3,61	41	3,60	70	0	0	2
3,55	34	3,56	8	-1	1	2
3,26	43	3,27	2	6	2	0
2,64	21	2,71	1	1	3	2
2,52	24	2,53	1	3	5	0

### 3.2.2. Аксинит-(Mn) – Ca<sub>4</sub>Mn<sub>2</sub><sup>2+</sup>Al<sub>4</sub>[B<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>30</sub>](OH)<sub>2</sub>

Аксинит-(Mn) – алюмоборосиликат из группы аксинита. В рассматриваемой породе образует самую внешнюю оболочку округлых стяжений, окаймляя фриделитовую оболочку (рис. 38). В отдельных участках породы переходит в незакономерное срастание с кальцитом. Кристаллы удлиненные, видны неотчетливо. Химический состав аксинита

представлен в таблице 11. В позиции марганца присутствуют изоморфные примеси железа (около 0,08 ф.е.) и магния (0,18 ф.е.), последняя – в половине случаев. Кроме того, наблюдается изоморфная примесь марганца в позиции кальция (до 1,34 ф.е.), а в позиции алюминия – примесь трехвалентного железа (до 0,32 ф.е.). В железных рудах Каражальского месторождения диагностирован впервые.

Табл. 11. Общий состав аксинита-(Mn) из Каражальского месторождения (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

Компонент	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	42,57	41,80	41,52	41,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,30	16,35	16,24	16,26
FeO	2,27	1,41	1,68	2,00
MnO	20,15	21,17	19,85	19,31
MgO	0,60	—	0,30	—
CaO	13,03	13,20	14,32	15,00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>расч</sup>	6,08	6,07	6,09	6,09
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 18 катионов				
<b>Si</b>	<b>8,12</b>	<b>7,98</b>	<b>7,90</b>	<b>7,86</b>
Al	3,44	3,68	3,64	3,64
Fe <sup>3+</sup>	0,28	0,20	0,26	0,32
<b>Сумма</b>	<b>3,72</b>	<b>3,88</b>	<b>3,90</b>	<b>3,96</b>
Fe <sup>2+</sup>	0,08	0,02	—	—
Mn	1,92	2,12	2,12	2,18
Mg	0,18	—	0,08	—
<b>Сумма</b>	<b>2,18</b>	<b>2,14</b>	<b>2,20</b>	<b>2,18</b>
Mn	1,34	1,30	1,08	0,94
Ca	2,66	2,70	2,92	3,06
<b>Сумма</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>
<b>B</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>
<b>O</b>	<b>30,00</b>	<b>29,94</b>	<b>29,86</b>	<b>29,84</b>

Обобщенный химический состав аксинита приведен на рисунке 35. При его анализе видно, что аксинит железных руд Каражальского месторождения является аксинитом-(Mn), богатым марганцем и бедным железом и магнием.

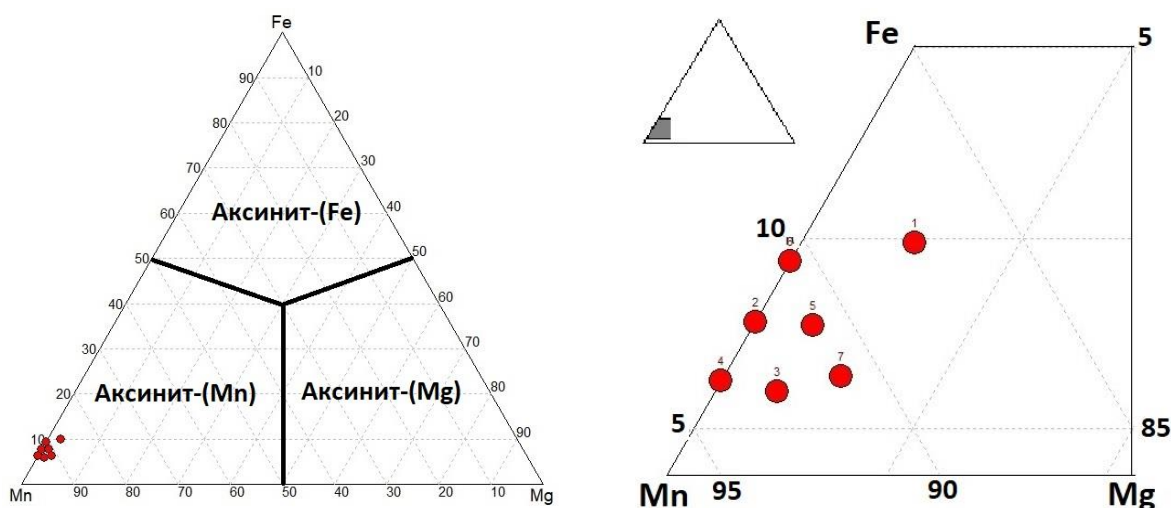


Рис. 35. Обобщенный химический состав аксинита-(Mn) железных руд Каражальского месторождения.

### 3.2.3. Родонит – $\text{CaMn}_4(\text{Si}_5\text{O}_{15})$

Родонит встречается в виде незакономерных сростаний с фриделитом, кварцем и кальцитом, реже выполняет отдельные вторичные жилы (рис. 39). Он сформирован в виде многочисленных сроставшихся блочных кристаллов с конформными границами. Химический состав родонита представлен в таблице 12. В более чем половине случаев в позиции марганца наблюдается примесь магния (около 0,05 ф.е.). Кроме того, в позиции кальция наблюдается изоморфная примесь марганца, от 0,3 до 0,5 ф.е. Дифрактограмма родонита Каражальского месторождения достаточно близка к эталонным данным для кальцита (эталон 01-083-2099) (табл. 13, рис. 36).

Табл. 12. Химический состав родонита из Каражальского месторождения (масс. %)

Компонент	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	46,30	45,63	45,77	45,74	45,86
MnO	47,95	49,64	48,80	48,95	48,64
MgO	—	0,34	—	0,52	0,30
CaO	5,75	4,40	5,44	4,79	5,21
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 10 катионов					
Si	<b>4,97</b>	<b>4,91</b>	<b>4,92</b>	<b>4,91</b>	<b>4,93</b>
Mn	4,02	4,09	4,08	4,00	4,03
Mg	—	0,05	—	0,08	0,05
<b>Сумма</b>	<b>4,02</b>	<b>4,14</b>	<b>4,08</b>	<b>4,08</b>	<b>4,08</b>
Mn	0,34	0,49	0,37	0,45	0,40
Ca	0,66	0,51	0,63	0,55	0,60
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>O</b>	<b>15,01</b>	<b>14,96</b>	<b>14,92</b>	<b>14,90</b>	<b>14,94</b>

Табл. 13. Результаты расчета рентгенофазового анализа родонита

Образец		Эталон 01-083-2099				
d	I	d	I	h	k	l
6,68	11,7	6,68	14,9	0	0	1
4,76	23,9	4,78	19,3	1	-1	1
—	—	4,13	9,0	-1	2	1
3,78	7,8	3,82	5,6	-2	1	0
3,66	14,7	3,68	3,7	2	0	0
—	—	3,57	14,3	-1	-2	1
3,45	8,6	3,42	8,3	-2	1	1
—	—	3,39	1,0	0	-3	1
—	—	3,35	20,0	0	0	2
—	—	3,28	2,6	-1	3	1
—	—	3,26	10,1	0	-1	2
—	—	3,23	0,8	2	-1	1
3,18	18,3	3,20	3,1	0	3	1
3,14	28,2	3,14	41,7	-1	0	2
—	—	3,10	23,6	-2	3	0
2,97	100,0	2,98	63,7	-1	-1	2
—	—	2,93	85,3	-1	4	0
2,87	63,9	2,86	5,9	0	-2	2
—	—	2,82	6,3	1	-2	2
2,80	18,4	2,80	3,1	0	2	2
—	—	2,79	7,0	2	-3	1
—	—	2,76	100,0	2	2	0
2,75	5,6	2,75	5,0	1	1	2
2,70	4,0	2,71	1,2	1	-4	1
2,65	7,1	2,65	23,2	-1	4	1
—	—	2,62	1,7	-2	4	0
2,60	10,6	2,60	22,9	-2	1	2
2,55	37,6	2,55	4,0	-3	1	0
2,52	9,9	2,52	22,3	-3	2	0
2,18	21,2	2,18	29,1	-1	0	3
2,06	11,2	2,06	1,7	2-	-4	2



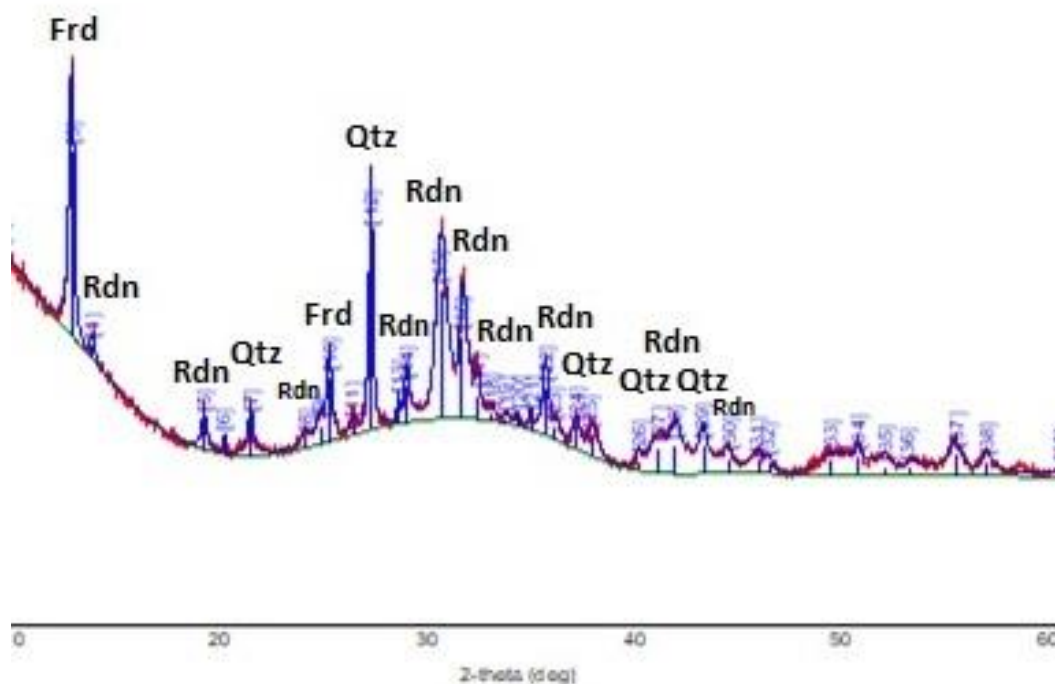


Рис. 36. Рентгенограмма участка породы (светлых прослоев) Каражальского месторождения.

#### 3.2.4. Тилазит – $\text{CaMg}(\text{AsO}_4)\text{F}$

Тилазит, относящийся к арсенатам кальция и магния, в исследуемых породах представлен двумя морфологическими типами. Первый наблюдается только во вторичных жилах, заполненных родохрозитом. В них тилазит представлен в виде сросшихся удлиненных призматических кристаллов (рис. 37). Второй тип представлен в виде сростков, не имеющих ярко выраженной морфологической формы, образующих незакономерные срастания с аксинитом, фриделитом, кальцитом и кварцем (рис. 38, 40). Химический состав тилазита представлен в таблице 14. В позиции мышьяка наблюдается изоморфная примесь кремния (от 0,14 до 0,3 ф.е.), а также примерно в половине случаев – незначительная примесь фосфора (0,01 ф.е.). В позициях кальция и магния наблюдается изоморфная примесь марганца (от 0,03 до 0,29 ф.е.). Для позиции фтора характерны изоморфные примеси хлора и группы ОН, последней – в большей степени (до 0,36 ф.е.). В железных рудах Каражальского месторождения диагностирован впервые.

Табл. 14. Химический состав тилазита из Каражальского месторождения (масс. %)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	9,92	3,87	8,52	4,70	5,96	5,26	5,32	5,38
MnO	16,59	5,21	15,65	4,97	7,78	6,22	6,96	1,56
MgO	15,46	18,54	16,56	18,41	17,96	18,64	18,37	20,12
CaO	19,01	24,89	17,14	25,23	21,45	23,71	23,89	26,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,41	0,37	0,58	0,41	0,44	—	0,35
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,44	37,56	32,82	38,58	37,52	37,31	37,3	38,7
F	7,29	5,67	8,71	7,14	8,62	8,08	7,94	7,49
Cl	0,28	0,17	0,43	0,13	0,28	0,19	—	—
<b>Сумма</b>	<b>99,99</b>	<b>96,32</b>	<b>100,20</b>	<b>99,74</b>	<b>99,98</b>	<b>99,85</b>	<b>99,78</b>	<b>100,02</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 3 катиона								
Ca	0,71	0,93	0,65	0,93	0,81	0,88	0,88	0,96
Mn	0,29	0,12	0,24	0,08	0,17	0,17	0,15	0,04
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,05</b>	<b>0,89</b>	<b>1,01</b>	<b>0,98</b>	<b>1,05</b>	<b>1,03</b>	<b>1,00</b>
Mg	0,80	0,97	0,87	0,94	0,94	0,96	0,95	1,01
Mn	0,20	0,03	0,23	0,06	0,06	0,01	0,05	—
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,01</b>
As	0,66	0,80	0,70	0,81	0,80	0,78	0,78	0,79
P	—	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	—	0,01
Si	0,34	0,14	0,30	0,16	0,21	0,18	0,18	0,18
<b>Сумма</b>	<b>1,01</b>	<b>0,95</b>	<b>1,01</b>	<b>0,98</b>	<b>1,02</b>	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>
F	0,80	0,63	0,97	0,78	0,96	0,88	0,87	0,80
Cl	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	—	—
OH	0,18	0,36	—	0,21	0,02	0,11	0,13	0,20
<b>Сумма</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

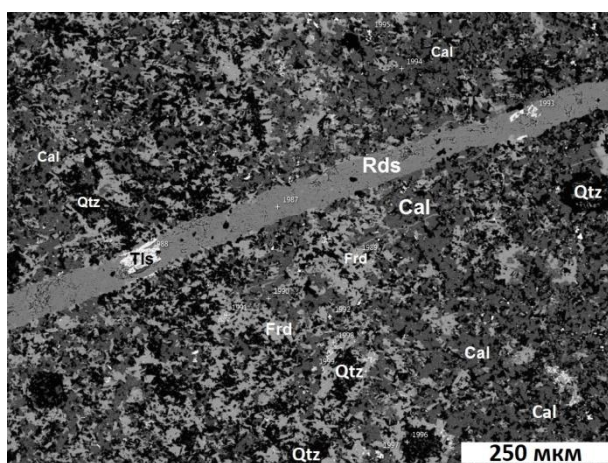


Рис. 37. Незакономерные сростания кальцита, кварца и фриделита. Вторичная жила, заполненная родохрозитом; кристаллы тилазита в жиле (фото РЭМ).

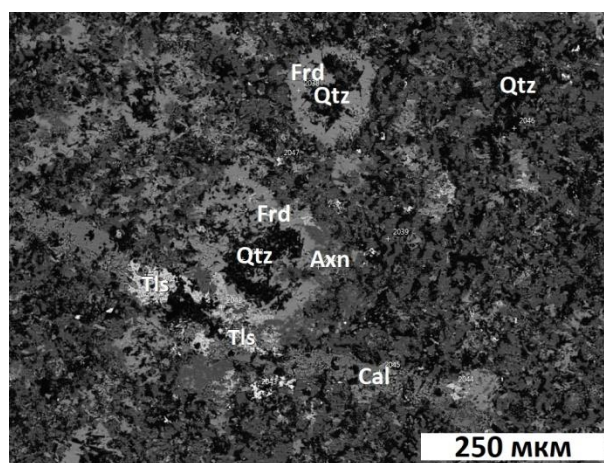
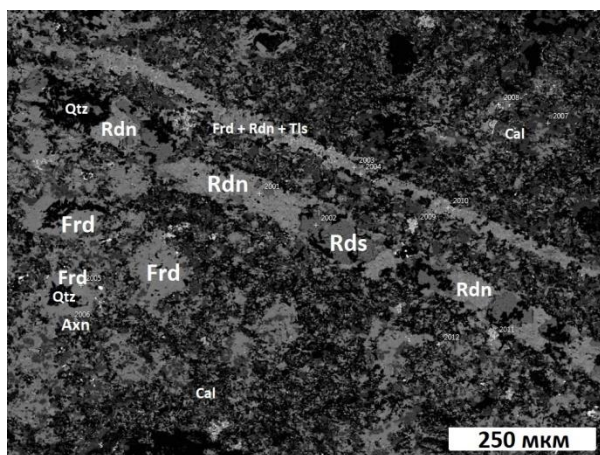
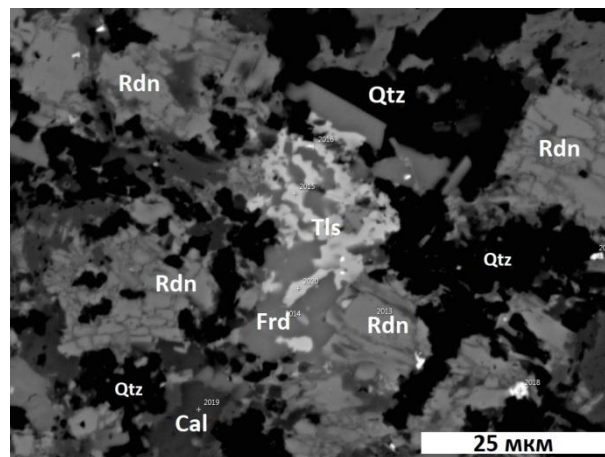


Рис. 38. Округлые стяжения с кварцевым ядром и внешней частью, образованной фриделитом, их сростание с аксинитом, кальцитом и тилазитом (фото РЭМ).



*Рис. 39. Вторичная жила, заполненная сростанием фриделита, родонита и тилазита. Вторичная жила, заполненная родонитом. Округлые стяжения, выполненные фриделитом, стяжения с кварцевым ядром и фриделитовой внешней частью (фото РЭМ).*



*Рис. 40. Незакономерные сростания тилазита, фриделита и родонита (фото РЭМ).*

Прочие второстепенные минералы встречаются в виде отдельных разрозненных зерен, рассеянных в породе.

### 3.2.5. Спессартин – $Mn_3^{2+}Al_2(SiO_4)_3$

Спессартин встречается в виде отдельных близких к изометричным зерен, рассеянных в породе. В некоторых частях породы можно наблюдать скопления спессартина среди сложных мелкозернистых сростаний кальцита, кварца и гематита (рис. 42). Химический состав спессартина представлен в таблице 15. В позиции марганца наблюдаются две изоморфные примеси: кальция (до 0,60 ф.е.) и в меньшей степени двухвалентного железа (до 0,11 ф.е.). В позиции алюминия присутствует изоморфная примесь трехвалентного железа (от 0,05 до 0,23 ф.е.). Обобщенный химический состав представлен на рисунке 41.

Табл. 15. Химический состав спессартина из Каражальского месторождения (масс. %)

Компонент	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	37,04	35,85	37,48	35,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,37	20,06	18,36	19,09
FeO	5,02	2,22	2,36	2,22
MnO	33,40	36,19	35,56	36,62
CaO	6,79	5,67	6,25	5,90
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 8 катионов				
<b>Si</b>	<b>3,03</b>	<b>2,91</b>	<b>3,05</b>	<b>2,93</b>
Al	1,71	1,95	1,79	1,87
Fe <sup>3+</sup>	0,23	0,05	0,13	0,11
<b>Сумма</b>	<b>1,94</b>	<b>2,00</b>	<b>1,92</b>	<b>1,98</b>
Fe <sup>2+</sup>	0,11	0,10	0,03	0,04
Mn	2,32	2,49	2,45	2,53
Ca	0,60	0,49	0,55	0,52
<b>Сумма</b>	<b>3,03</b>	<b>3,08</b>	<b>3,03</b>	<b>3,09</b>
<b>O</b>	<b>12,00</b>	<b>11,90</b>	<b>12,03</b>	<b>11,92</b>

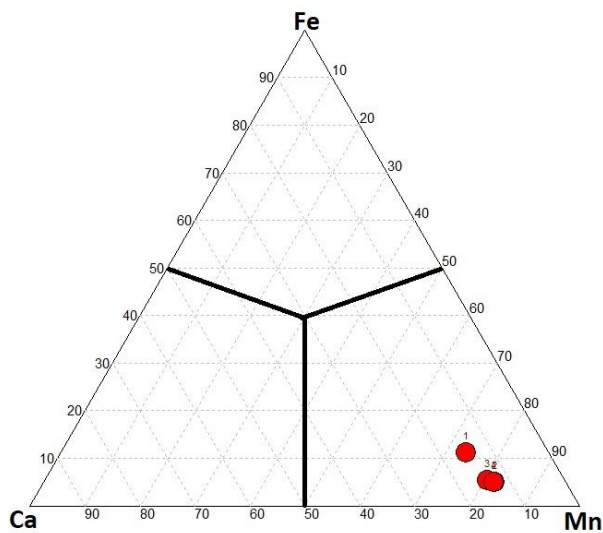


Рис. 41. Обобщенный химический состав спессартина железных руд Каражальского месторождения

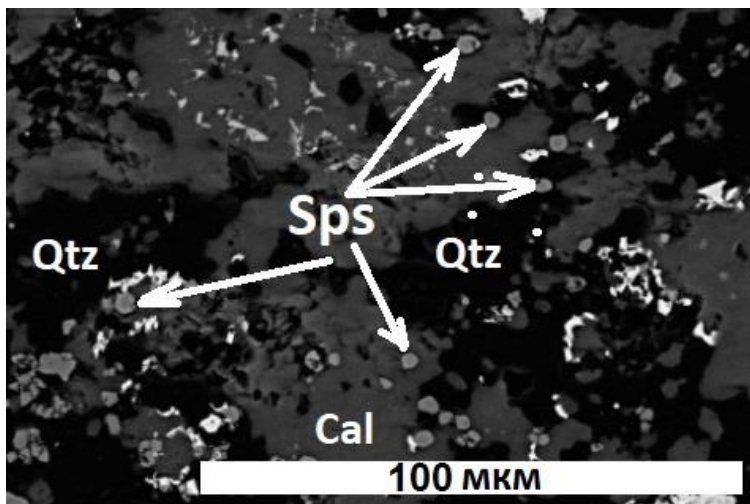


Рис. 42. Отдельные зерна и скопления зерен спессартина (фото РЭМ).

### 3.2.6. Барит – Ba(SO<sub>4</sub>)

Барит образует отдельные относительно крупные выделения в сростании с кальцитом и родохрозитом (последнее – во вторичных жилах, выполненных родохрозитом) (рис. 43, 44). Часто имеет пластинчатую форму. Химический состав барита приведен в таблице 16. В позиции бария наблюдается незначительная, но стабильная изоморфная примесь стронция (0,06 ф.е.). Кроме того, примерно в половине случаев наблюдается незначительная изоморфная примесь кальция (0,08 ф.е.) и марганца (не более 0,02 ф.е.).

Табл. 16. Химический состав барита из Каражальского месторождения (масс. %)

Компонент	1	2	3	4	5
MnO	0,50	0,50	—	—	—
CaO	2,01	2,24	—	—	—
BaO	58,80	58,90	62,47	64,04	63,67
CrO	—	—	—	—	—
SrO	3,57	3,13	1,81	1,79	2,62
SO <sub>3</sub>	35,12	35,23	35,71	34,17	33,71
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 2 катиона					
Mn	0,02	0,02	—	—	—
Ca	0,08	0,09	—	—	—
Ba	0,85	0,85	0,94	0,97	0,96
Sr	0,08	0,07	0,04	0,04	0,06
<b>Сумма</b>	<b>1,03</b>	<b>1,03</b>	<b>0,98</b>	<b>1,01</b>	<b>1,02</b>
<b>S</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>1,02</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>
<b>O</b>	<b>3,97</b>	<b>3,97</b>	<b>4,04</b>	<b>3,98</b>	<b>3,96</b>

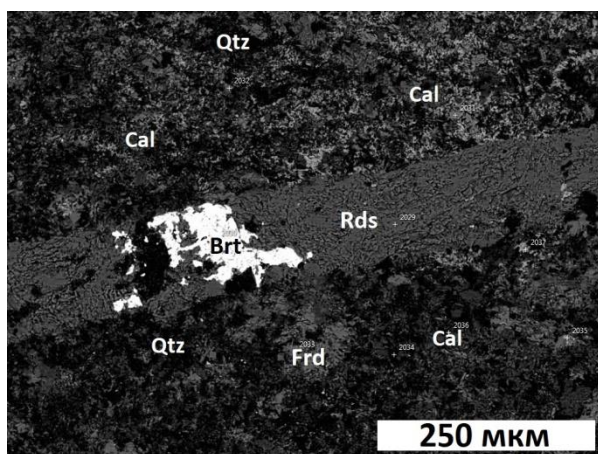


Рис. 43. Барит в родохрозитовой жиле (фото РЭМ).

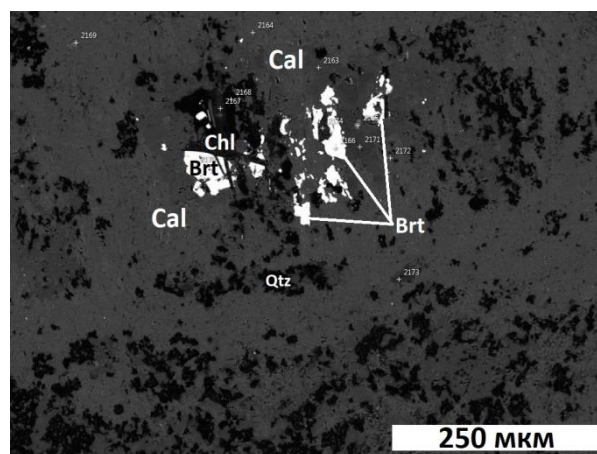


Рис. 44. Барит в кварц-кальцитовой массе; нарастание железистого клинохлора на барите (фото РЭМ).

### 3.2.7. Железистый клинохлор – $(Mg, Fe^{3+}, Al)_6[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_8$

Железистый клинохлор представлен в виде отдельных удлиненных кристаллов. Как правило, образован на кальците или барите (см. рис. 44). Химический состав клинохлора представлен в таблице 17. Для него характерна значительная изоморфная примесь алюминия (до 1,3 ф.е.), в меньшей степени представлены железо и марганец. Железо встречается как в двухвалентной, так и в трехвалентной форме.

Табл. 17. Химический состав железистого клинохлора из Каражальского месторождения (масс. %)

Компонент	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	34,50	33,68	31,49	30,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,75	22,74	23,39	21,92
FeO	12,50	12,27	8,60	18,10
MnO	3,17	6,52	13,88	7,90
MgO	28,09	24,79	22,44	19,13
CaO	—	—	0,21	2,64
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	0,27
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 28 зарядов				
Si	2,98	2,96	2,81	2,74
Al <sup>IV</sup>	1,02	1,04	1,19	1,26
<b>Сумма</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>
Al <sup>VI</sup>	1,24	1,36	1,31	1,13
Fe <sup>2+</sup>	0,22	—	0,53	1,27
Fe <sup>3+</sup>	0,68	0,90	0,11	0,11
Mn	0,46	0,49	1,05	0,61
Mg	3,62	3,25	2,98	2,60
Ca	—	—	0,02	0,26
Cr	—	—	—	0,02
<b>Сумма</b>	<b>6,22</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>

### 3.2.8. Альбит – Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)

Альбит образует редкие, но относительно крупные близкие к изометричным зерна, нередко в сростании с кварцем. Химический состав альбита приведен в таблице 18. Альбит рассматриваемых пород близок к теоретической формуле, изоморфные примеси, за исключением отдельных следов калия, отсутствуют.

Табл. 18. Химический состав альбита из Каражальского месторождения (масс. %)

Компонент	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	69,85	68,69	67,72	68,85	68,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,88	19,84	20,33	19,72	19,54
Na <sub>2</sub> O	11,27	11,23	10,83	11,42	11,47
K <sub>2</sub> O	—	—	0,16	—	—
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>99,76</b>	<b>99,05</b>	<b>100,00</b>	<b>99,62</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 16 кислородов					
<b>Si</b>	<b>3,03</b>	<b>2,99</b>	<b>2,97</b>	<b>2,99</b>	<b>2,99</b>
<b>Al</b>	<b>0,98</b>	<b>1,03</b>	<b>1,07</b>	<b>1,03</b>	<b>1,03</b>
Na	0,95	0,95	0,92	0,96	0,97
K	—	—	0,01	—	—
<b>Сумма</b>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	<b>0,93</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>

### 3.3. Акцессорные минералы

Апатит (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F) представлен в виде редких разрозненных мелких зерен изометричной формы. Химический состав представлен в таблице 19. Для апатита характерна повсеместно наблюдаемая изоморфная примесь мышьяка в позиции фосфора (до 0,16 ф.е.). В позиции кальция присутствует незначительная (от 0,02 до 0,12 ф.е.), но стабильная изоморфная примесь марганца и железа.

Табл. 19. Химический состав апатита из Каражальского месторождения (масс. %) (прим.: приведены нормализованные анализы)

Компонент	1	2	3	4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	1,15	—	—
FeO	2,12	0,96	1,01	0,33
MnO	0,32	0,27	—	0,58
MgO	—	—	0,26	0,29
CaO	52,97	52,31	53,30	54,76
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,17	2,32	0,65	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	38,16	37,88	39,95	39,58
F	5,26	5,12	4,51	4,26
Cl	—	—	0,31	0,19
<b>Сумма</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Коэффициенты в формуле, рассчитанные на 8 катионов				
Al	—	0,03	—	—
Fe	0,15	0,07	0,07	0,02
Mn	0,02	0,02	—	0,04
Mg	—	—	0,07	0,07
Ca	4,94	4,88	4,92	5,00
<b>Сумма</b>	<b>5,11</b>	<b>5,00</b>	<b>5,06</b>	<b>5,13</b>
Al	—	0,09	—	—
P	2,82	2,79	2,91	2,86
As	0,06	0,12	0,03	—
<b>Сумма</b>	<b>2,88</b>	<b>3,00</b>	<b>2,94</b>	<b>2,86</b>
F	1,45	1,41	1,23	1,15
Cl	—	—	0,09	0,06
<b>Сумма</b>	<b>1,45</b>	<b>1,41</b>	<b>1,32</b>	<b>1,19</b>
<b>O</b>	<b>11,56</b>	<b>11,66</b>	<b>11,75</b>	<b>11,67</b>

Рутил (TiO<sub>2</sub>) встречается редко, хотя и представлен более крупными зернами, чем зерна апатита. Морфологически имеет неясную призматическую форму.



#### **Глава 4. Сравнительная характеристика железных руд месторождений Жомарт и Каражал. Последовательность минералообразования**

Железные руды месторождения Жомарт и Каражал отличаются по нескольким параметрам. В первую очередь, железные гематитовые руды месторождения Жомарт характеризуются наличием только трех породообразующих минералов: гематита, кварца, кальцита. В железных гематитовых рудах месторождения Каражал, помимо породообразующих гематита, кварца и кальцита, выявляется также девять второстепенных и два акцессорных минерала.

Кроме того, карбонатсодержащие минералы в железных рудах месторождений различаются. В породах месторождения Жомарт они представлены кальцитом, не имеющим или имеющим незначительную изоморфную примесь марганца. В породах месторождения Каражал они представлены манганокальцитом, родохрозитом, а также синхизитом-(Ce) (см. рис. 32). Наличие марганцевых карбонатов может быть связано с наложенной марганцевой минерализацией, характерной для руд Каражалского месторождения.

Помимо этого, отмечается разница в химическом составе гематита в железных рудах. Для руд Каражалского месторождения характерны примеси марганца и титана. В гематите месторождения Жомарт не были обнаружены примеси (см. табл. 2). Отличается и морфология кристаллов. Для руд Каражалского месторождения характерны неправильной формы мелкие сростки с кварцем и кальцитом. Для руд месторождения Жомарт характерны крупные хорошо ограненные вытянутые призматические кристаллы.

В последовательности процесса минералообразования в железных рудах месторождения Жомарт можно выделить две стадии минерализации. В первую стадию происходило одновременное формирование вмещающей породы и рудной массы. Во вторую стадию происходило заполнение пустот и трещин в железорудных слоях и во вмещающей породе.

В течение первой стадии происходило формирование рудных минералов, представленных гематитом, в ассоциации с кварцем и кальцитом (рис. 45), а также формирование вмещающей породы, состоящей из кальцита. Во вторую стадию минералообразования происходило заполнение оставшихся пустот и трещин. В железорудных слоях они выполнялись кальцитом (рис. 46). Во вмещающей породе одновременно происходило формирование кварцевых стяжений (рис. 47).

В последовательности процесса минералообразования в железных рудах Каражалского месторождения можно выделить две стадии минерализации. В первой

стадии происходило формирование железорудных слоев. Вторая стадия характеризуется формированием вторичной марганцевой минерализации.

В течение первой стадии минералообразования происходило отложение рудных минералов в ассоциации с минералами группы кальцита и кварцем. Рудные минералы представлены гематитом, минеральная ассоциация вмещающих пород, формировавшаяся одновременно с рудной, представлена кварцем, кальцитом и манганокальцитом (рис. 48). Также в эту стадию сформировалась часть барита в сростании с кальцитом (рис. 52).

На второй стадии минералообразования формировались родохрозит и силикаты и алюмосиликаты марганца, такие как фриделит, родонит, аксинит-(Mn). Они заполняли пустоты и каверны породы, выполняя округлые стяжения, а также часть трещин. Также происходило формирование тилазита, синхизита и барита в трещинах одновременно с родохрозитом, родонитом (рис. 49, 50, 51) и формирование железистого клинохлора на барите первой генерации и кальците (рис. 52).

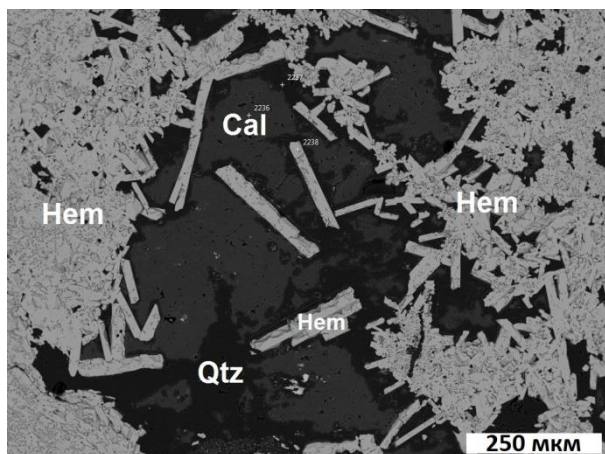


Рис. 45. Взаимоотношения гематита, кварца и кальцита (месторождение Жомарт) (фото РЭМ).

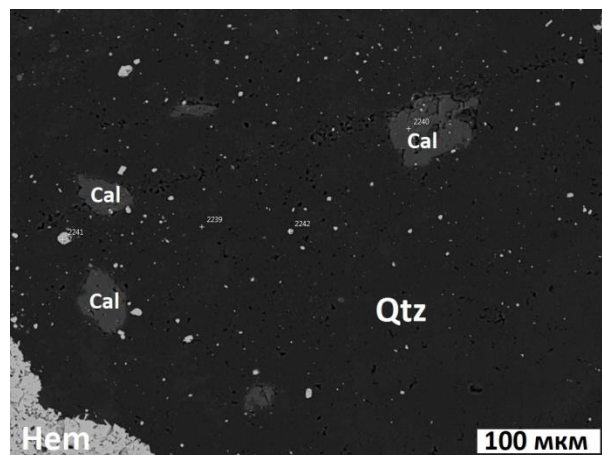


Рис. 46. Кальцит, выполняющий пустоты в кварцевой массе (месторождение Жомарт) (фото РЭМ).

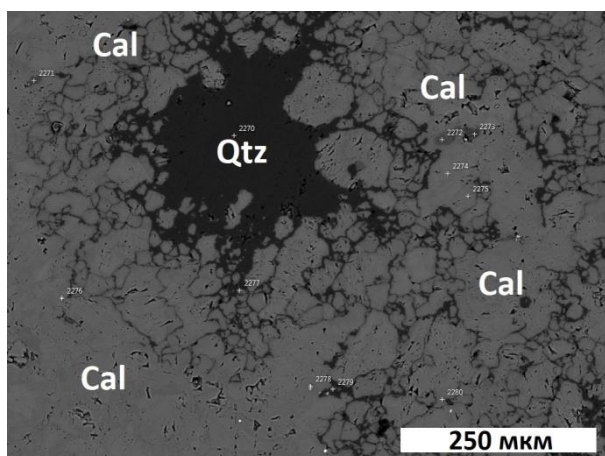


Рис. 47. Кварцевое стяжение в кальцитовой массе (месторождение Жомарт) (фото РЭМ).

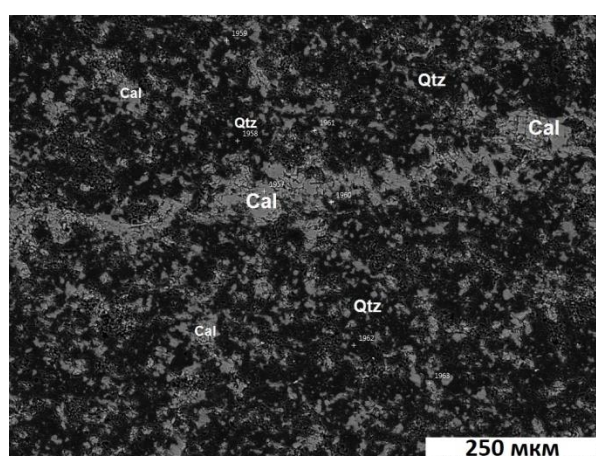


Рис. 48. Взаимоотношения кальцита и кварца (месторождение Каражал) (фото РЭМ).

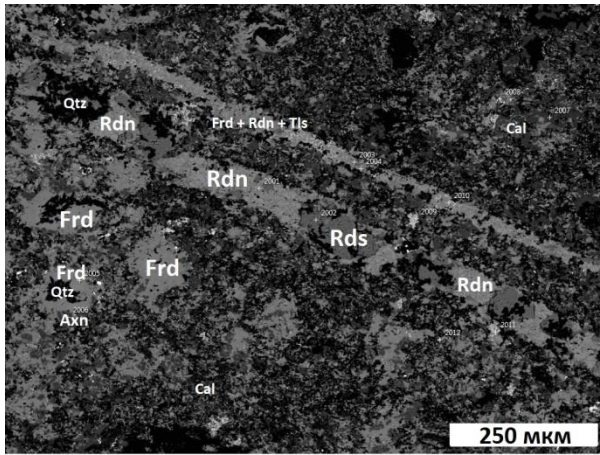


Рис. 49. Взаимоотношения фриделита, родонита, родохрозита и кварц-кальцитовой массы (месторождение Каражал) (фото РЭМ).

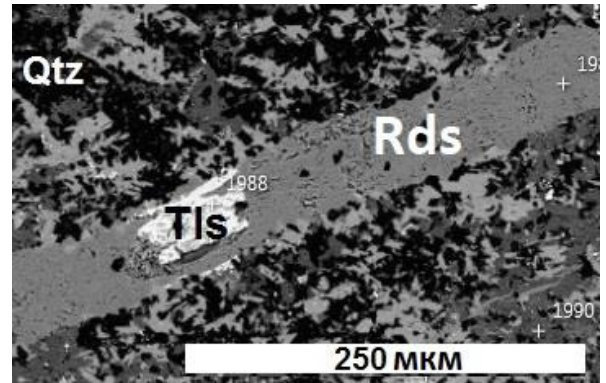


Рис. 50. Взаимоотношения родохрозита и тилазита (месторождение Каражал) (фото РЭМ).

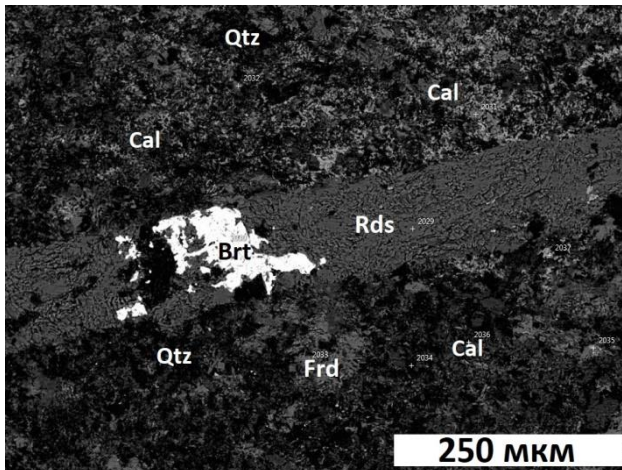


Рис. 51. Взаимоотношения родохрозита и барита (месторождение Каражал) (фото РЭМ).

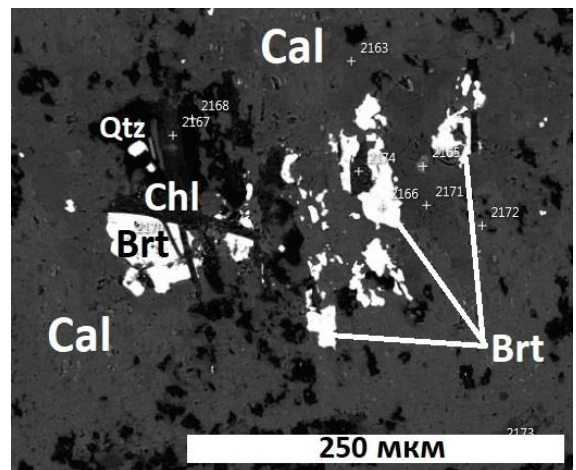


Рис. 52. Взаимоотношения кальцита, барита и железистого клинохлора (месторождение Каражал) (фото РЭМ).

## Заключение

В ходе проведенного исследования было диагностировано более 16 минералов железных руд Каражальского месторождения и всего три минерала железных руд месторождения Жомарт; была определена последовательность минералообразования. Главными породообразующими минералами обоих месторождений являются гематит, кварц и минералы группы кальцита. Для исследованных железных руд месторождения Жомарт характерно наличие лишь перечисленных породообразующих минералов. В месторождении Каражал, кроме породообразующих минералов, наблюдается больше десяти второстепенных и акцессорных минералов.

Были изучены вариации химического состава минералов группы кальцита. Минералы группы кальцита в месторождении Жомарт представлены собственно кальцитом. В Каражальском месторождении карбонатные минералы представлены более широким рядом – кальцитом, манганокальцитом, родохрозитом, синхизитом-(Ce).

В ходе исследования железных руд месторождения Каражал была выявлена наложенная марганцевая минерализация. Она представлена второстепенными минералами, такими как фриделит, родонит, родохрозит, аксинит-(Mn) и другими. Данные минералы представлены во второстепенных секущих жилах и выполняют округлые стяжения в породе.

В железных рудах Каражальского месторождения благодаря современным методам исследования впервые были диагностированы аксинит-(Mn), синхизит-(Ce), тилазит.

Изучение минерального состава железных руд месторождений Жомарт и Каражал может помочь подобрать наиболее подходящую технологию обогащения данных руд.

## Литература

1. Калинин В.В. Железо-марганцевые руды месторождения Караджал. М.: Издательство «Наука», 1965. 124 с.
2. Каюпова М.М. Минералогия железных и марганцевых руд Западного Атасу (Центральный Казахстан). Алма-Ата: Издательство «Наука» Казахской ССР, 1974. 232 с.
3. Геологическая карта. Масштаб 1:1000000 (новая серия). Лист М-(41), 42 – Целиноград (Акмола). Объяснительная записка. СПб, 1993. 145 с.
4. Геология СССР / Гл. ред. Е.А. Козловский. Том XX. Центральный Казахстан. Полезные ископаемые. В двух книгах. Кн. 1 / Под. ред. И.В. Орлова. М.: «Недра», 1989. – С. 285-317, 382-411.
5. Atlas of Mineral Deposit Models / Editors: Daukeev S.Zh., Uzhkenov B.S., Bespaev Kh.A., Miroshnichenko L.A., Mazurov A.K., Sayduakasov M.A. Almaty: Institute of Geological Sciences, 2004.
6. Открытая база данных минералов, горных пород, метеоритов и их местонахождений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mindat.org/> (дата обращения 20.04.2019).