

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Направление подготовки 05.04.01 Геология

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Минералогия золотоносных руд месторождения Воронцовское
(Свердловская обл., Россия)

Студентки 2 курса
Кузнецовой Марины Александровны
Степень образования:
Магистратура
Заведующий кафедрой:
д. г.-м.н, профессор Брусницын А.И.

Научный руководитель:
к.г.-м.н. доцент Перова Е.Н.

Санкт-Петербург

2022 год

Содержание

Введение	3
Глава 1. Геологическая позиция месторождения Воронцовское	5
1.1. Физико-географический очерк района исследования	5
1.2. Геологическая позиция района исследования	6
1.3. Геологическое строение месторождения	9
Глава 2. Строение и состав руд Воронцовского месторождения	13
Глава 3. Петрографическое описание	25
Глава 4. Минералогия руд Воронцовского месторождения	32
Заключение и итоги работы	38
Список литературы и интернет-ресурсов	59

Введение

Первые сведения о геологическом строении территории, тогда еще Богословского горного округа, появились в XIX веке в работах Е.С. Федорова и А.П. Карпинского, составивших геологические карты отдельных районов Северного Урала.

Здесь с середины XIX века были известны и активно отрабатывались медно-скарновые Турьинские рудники. Добыча золота началась с XVIII века.

Существенную роль в изучении геологического строения Воронцовского рудного узла сыграли исследования В.М. Сергиевского. Турьинские рудники изучали Е.С. Федоров, Д.С. Коржинский (1948), В.П. Логинов, В.Ф. Чернышев, Л.Н. Овчинников (1948, 1960), Я.П. Баклаев (1959, 1973; Баклаев, Усенко, 1989) и мн. др.[2].

Месторождение «Воронцовское» — один из самых первых ключевых активов, приобретенный дочерней компанией «Полиметалла» в 1998 году, который состоит из карьера, фабрики «уголь-в-пульпе» (УВП) мощностью 950 тыс. тонн в год и сезонного кучного выщелачивания (КВ) мощностью 1 млн тонн в год.

Засчет сочетания различных способов переработки, Воронцовское может использовать в качестве сырья как первичную, так и окисленную руду. С начала производства актив демонстрирует устойчивые производственные и финансовые результаты и вносит значительный вклад в формирование свободного денежного потока компании [3].



Рис. 1. Карьер Воронцовского месторождения, ночью
[АО «Полиметалл Инжиниринг»]

Целью исследования является определение минерального состава золотых руд месторождения Воронцовское, расположенного в Свердловской области РФ.

Задачи:

- Обобщение литературных данных о геологии месторождения
- Изготовление препаратов для исследования (ППШ и аншлифы)
- Установление минерального состава руд месторождения
- Выявление структурных взаимоотношений фаз слагающих минералов в отдельных образцах
- Выделение минеральных парагенезисов
- Обработка результатов исследования

Для наиболее комплексного изучения образцов использованы следующие **методы:**

- Оптическая микроскопия в проходящем и отраженном свете

Оборудование: Оптический микроскоп «Leica»

- Электронный энергодисперсионный рентгеноспектральный микроанализ

Ресурсный центр «Геомодель» при СПбГУ

Оборудование: Электронный микроскоп «Hitachi»

- Рентгенофазовый анализ

Оборудование: Порошковый рентгенофазовый спектрометр «Rigaku Miniflex 2»

Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования» при СПбГУ

Актуальность исследования состоит в том, что данное месторождение находится в процессе разработки.

Компания заинтересована в более детальной характеристике добываемых руд, так как это позволит точнее планировать схемы их обогащения.

Выражаю благодарность за помощь в подготовке ВКР своему научному руководителю – к.г.-м.н. доценту Перовой Е.Н., а также ресурсному центру СПбГУ «Геомодель» за предоставление оборудования для проведения практических исследований.

1.1. Физико-географический очерк района исследования

Воронцовское золоторудное месторождение располагается в Краснотурьинском районе Свердловской области.

Область включает в себя восточные склоны Среднего Урала и, частично, Северного Урала. А также прилегающие территории Западно-Сибирской равнины (Зауралье). В юго-западной части района расположены: западные склоны Среднего Урала, небольшая часть Уфимского плато и Сылвинский Кряж (414 м). В северной части плосковершинные горные хребты разделены глубокими долинами. Наиболее высокие отметки имеют Конжаковский Камень (1569 м), Косьвинский Камень (1519 м), Денежкин Камень (1492 м).

Центральная часть территории состоит из низких лесистых хребтов и увалов, характеризующихся плавными очертаниями. Вершины редко превышают 500-600 м. Холмисто-волнистая Зауральская возвышенность (около 250 м.) постепенно снижается к востоку и переходит в довольно плоскую Турьинскую равнину. Уфимское плато сильно расчленено долинами, на склонах которых встречаются карстовые воронки [5].

Климат района работ можно охарактеризовать как континентальный.

Средние температуры января составляют от -15 С на юге до -18 С на севере области. Зимой в межгорных котловинах часто фиксируются температурные инверсии. Продолжительная холодная зима способствует накоплению больших снежных масс. Устойчивый снежный покров сохраняется около 170 дней в году. Лето теплое и короткое. Средние температуры июля – около 16-18 С, на вершинах Среднего Урала – 10-12 С.

Годовое количество осадков варьирует от 350 до 600 мм в год, преобладая на западе области [5].

Речная сеть достаточно густая и развитая. Большинство рек стекает с восточного склона Уральских гор и принадлежит бассейну Северного Ледовитого Океана. К ним относится и самая многоводная река области – Тавда. А также все составляющие её рукава и притоки. Реки западных склонов, Чусовая и Уфа, относятся к бассейну Каспийского моря.

К восточным предгорьям приурочены озера Шарташ, Песчаное, Балтын, Таватуй. Значительная часть озер расположена в слабодренированной Западно-Сибирской равнине. Широкие долины рек изобилуют пойменными озерами-старицами [5].

Большая часть области располагается в таежной зоне. Почвы подзолистые, дерново-подзолистые и серые лесные. Также широко распространены болотистые почвы. На небольшой площади, занимаемой лесостепной зоной, сформировался чернозем.

Хвойные леса занимают большую часть района исследования. Их составляют, в основном, сосновые. На выжженных пожарами территориях распространены береза и осина. К югу проявляются липа, клен, дуб и ильм. На горных территориях наблюдается высотная поясность касательно преобладающих видов растений.

На большей части исследуемой территории преобладают представители таежной фауны, но южнее они соседствуют с жителями лесостепей. Из промысловых животных распространены пушные: белка, колонок, куница, лисица [5].

1.2. Геологическая позиция района исследования

Следуя с запада на восток, данная территория включает: Уфимско-Соликамскую впадину Предуральяского краевого прогиба, среднюю часть герцинской Уральской складчатой системы и часть западной окраины Западно-Сибирской платформы.

Уфимско-Соликамская впадина заполнена пермской терригенно-карбонатной соленосной молассой. Мегазона Западного склона образована терригенными, карбонатными, отчасти вулканогенно-осадочными и кремнисто-глинистыми породами ордовика- карбона, а также терригенными (с покровами основных эффузивов) и карбонатными толщами рифея – венда. На юге выделяется перемещённый с востока Нязепетровский аллохтонный комплекс пород палеозоя и гипербазитов. В восточной части района герциниды Урала погружаются под осадочный чехол Западно-Сибирской платформы, представленный юрско-эоценовыми морскими отложениями (глины, пески, конгломераты, опоки) и олигоцен-неогеновыми озёрно-аллювиальными накоплениями; мощность осадочного чехла увеличивается в восточном направлении приблизительно до 2 км. Развит покров четвертичных отложений [5].

Многочисленны золотые и золото-платиновые россыпи. Известны коренные месторождения руд золота (Берёзовское, Крылатовско-Чесноковское, Воронцовское, Гагарское, Маминское) и платиноидов.

В южной части района в тесной связи с Ауэрбаховским интрузивным массивом габбро-диоритгранодиоритовой формации, близким по возрасту краснотурьинской свите, обособляется Ауэрбаховская группа железоскарновых месторождений и золоторудное Воронцовское месторождение (Рис. 1).

Оно отрабатывается с 1998 года карьерным способом ЗАО “Золото Северного Урала”; отлито в слитках более 55 т золота и 50 т серебра. Турьинско-Ауэрбаховскому рудному району, включающему месторождение, отвечает одноименная вулканотектоническая депрессия с пологим (15° – 30°) падением крыльев к центру структуры (Рис. 2). Она выполнена осадочными, вулканогенно-осадочными и вулканогенными породами краснотурьинской свиты [4].

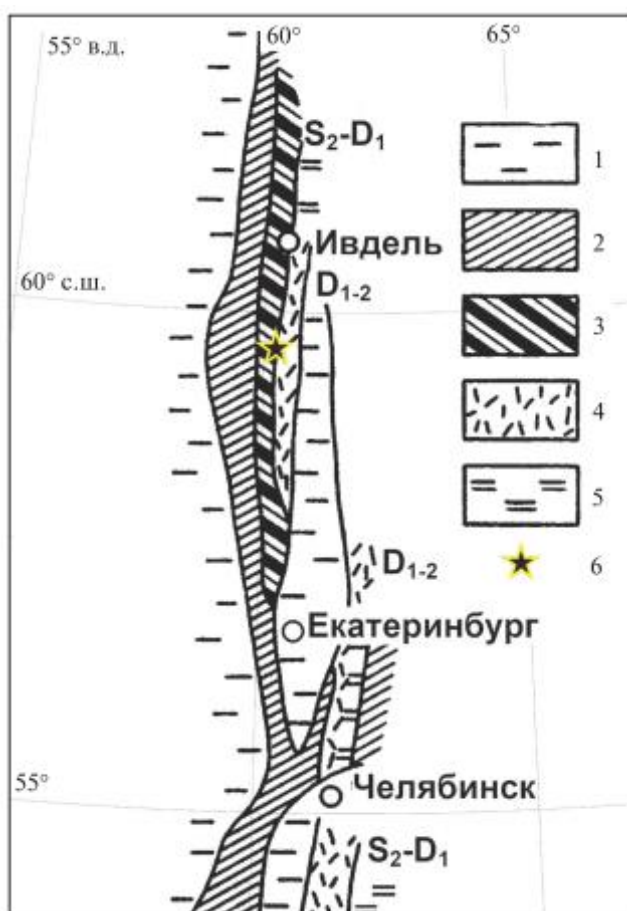


Рис. 2. Позиция Воронцовского месторождения на тектонической схеме средней части Урала, упрощенно по (Язева и др., 1989) [4].

1 – комплексы пассивной окраины и микроконтинентов; 2 – тектонические скученные комплексы океанической коры и энсиматических островных дуг; 3 – базальтоидные (железосные) вулканоплутонические ассоциации краевых поясов; 4 – андезитоидные (меденосные) вулканоплутонические ассоциации краевых поясов; 5 – трахиандезит-монцодиоритовые ассоциации; 6 – Воронцовское месторождение.

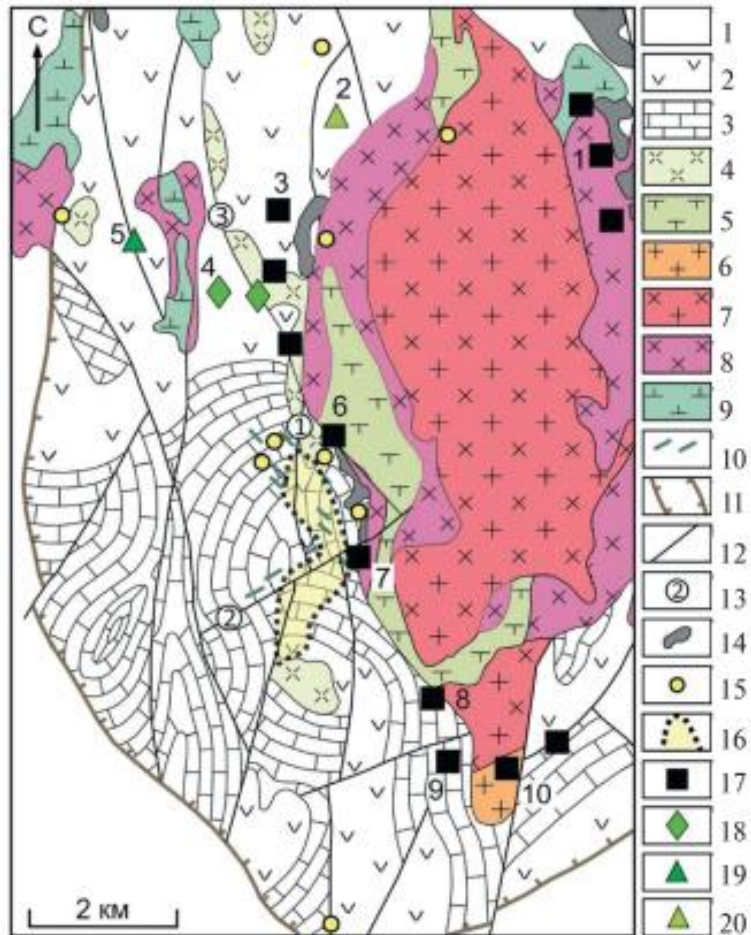


Рис. 3. Схематическая геологическая карта южной части Турьинско-Ауэрбаховского рудного района. По материалам Н.С. Лисова (1978) и В.Н. Боброва (1991) [4].

1 – вулканогенные образования трахибазальт-трахиандезитовой формации, в подчиненном количестве – туфогенно-осадочные разности и известняки, турьинская свита (S_2-D_{1tr});

2–3 – осадочные, туфогенно-осадочные и вулканогенные образования базальт-андезит-дацитовый формации, краснотурьинская свита (D_{1kr}): 2 – андезиты, их туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты; 3 – известняки;

4–5 – раннедевонские субвулканические образования: 4 – диоритовые порфириды; 5 – андезибазальтовые и долеритовые порфириды;

6–9 – интрузивные образования габбро-диорит-гранитовой формации, ауэрбаховский комплекс (D_{1a}): 6 – граниты, аляскитовые граниты; 7 – гранодиориты; 8 – диориты, кварцевые диориты;

9 – габбро, габбродиориты;

10 – дайки диоритовых порфиридов, лампрофиров, долеритов и габбродолеритов (вне масштаба); 11 – разломы, ограничивающие вулканотектоническую депрессию;

12 – остальные тектонические нарушения;

13 – рудоконтролирующие разломы района Воронцовского месторождения: 1 – Воронцовский, 2 – Южноворонцовский, 3 – Североворонцовский;

14 – участки скарнирования;

15 – рудопоявления золото-сульфидно-кварцевой формации;

16 – контур золоторудного Воронцовского месторождения;

17 – магнетит-скарновые месторождения; 18 – то же, с наложенной пирротиновой и пирит-халькопиритовой минерализацией;

19 – медно-скарновые месторождения с пирит-халькопиритовыми рудами; 20 – то же, с эпидозитами.

Скарновые месторождения и проявления (Подлесский, 1979): 1 – Ауэрбаховское, 2 – Ново-Песчанское, 3 – Северо- и Южно-Песчанские, 4 – Западно-Песчанское, 5 – Полуденское, 6 – Северо-Воронцовское и Воронцовское, 7 – Южно-Воронцовское, 8 – Гаревское, 9 – Владыкинское, 10 – Каквинское

1.3. Геологическое строение месторождения Воронцовское

Месторождение расположено в западном экзоконтакте Ауэрбаховского интрузивного массива, в 400–500 м от контакта, и ограничено на западе Воронцовским разломом (взбросом) меридионального простирания, падающим на запад под углом 70–80°.



Рис 4. Карьер Воронцовского месторождения, днем [АО «Полиметалл Инжиниринг»]

На юго-западе месторождение ограничивается Южно-Песчанским разломом северо-западного простирания; на востоке рудные тела месторождения выведены на дневную поверхность и эродированы. На севере оруденение затухает, по падению и простиранию выклинивается.

Разломы имеют додайковый и дорудный возраст, ограничивают, реже вмещают оруденение, а также имеют признаки подновления в послерудное время, сопровождаются мощными зонами катаклаза. В блоке, ограниченном этими разломами и контактом Ауэрбаховской интрузии, рудовмещающие породы (фроловско-васильевская и богословская толщи) слагают моноклираль с пологим (25–45°) падением на запад (ЗСЗ), осложненную крупной антиклиналью, ось которой имеет северо-западное простирание. Размах крыльев

складки достигает 800–900 м, они осложнены серией мелких (размах до 80 м) антиклинальных и синклинальных складок[2].

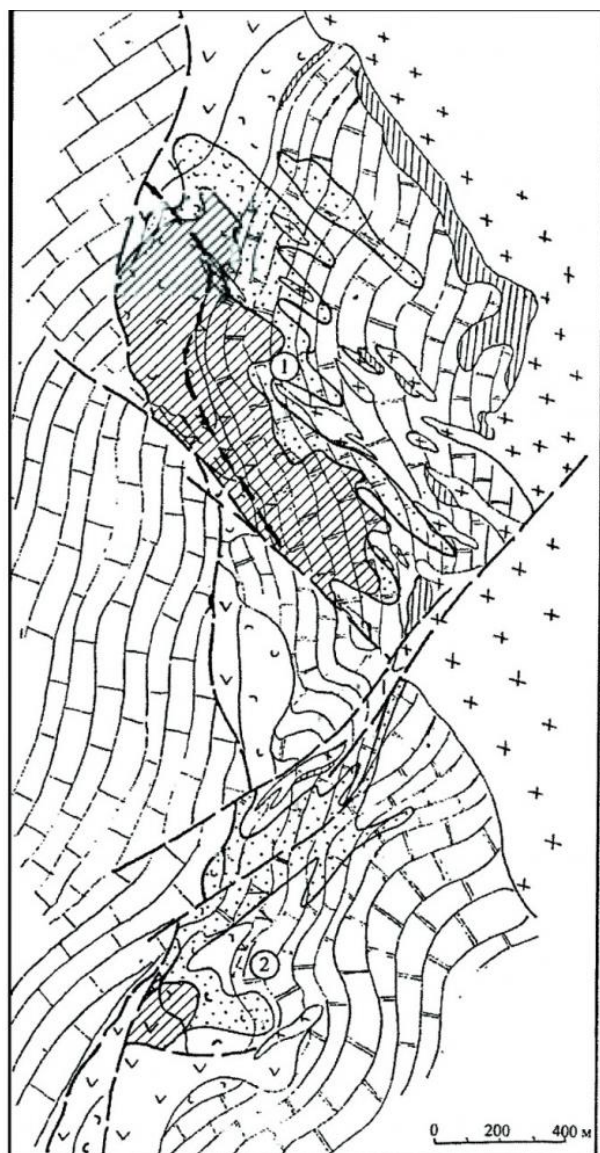


Рис. 5 План месторождения «Воронцовское»
[по Черемисину А.А., 1999].

Условные обозначения:

- 1 – андезитовые порфириты, их туфы и лавобрекчии
- 2 – туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоалевриты с прослоями кремнистых пород и известняков
- 3 – карбонатная осадочная брекчия
- 4 – мрамор
- 5 – известняк
- 6 – диориты-кварцевые диориты, гранодиориты, диоритовые порфириты
- 7,8 – рудные тела и их проекции на дневную поверхность
- 9 – скарны с магнетитовой минерализацией
- 10 – разрывные нарушения
- 11 – рудоконтролирующий разлом
- 12 – месторождения:
1) Воронцовское, 2) Полутовское

Маркирующий контакт брекчиевидных известняков (фроловско-васильевская толща) с вулканогенно-осадочными породами (богословская толща) имеет юго-западное падение под углом 20-30° на юге и северо-западное под углом 30° – на севере, погружаясь здесь до 240 м. На отдельных участках отмечается крутое залегание (до 70°) карбонатных брекчий.

Вблизи Воронцовского разлома залегание контакта пологое. В пределах рудовмещающего блока породы осложнены надвигом дорудного заложения, расположенном в лежачем боку Воронцовского взброса.

Надвиг падает на запад под углами 45–55°, субсогласен слоистости пород, проходит вблизи контакта карбонатной и вулканогенно-осадочной толщ и имеет более крутое залегание, чем слоистость. По надвигу происходит сдвигание разреза, что определяет рост мощности оруденелой зоны. Амплитуда перемещения по надвигу составляет 50–80 м [2].

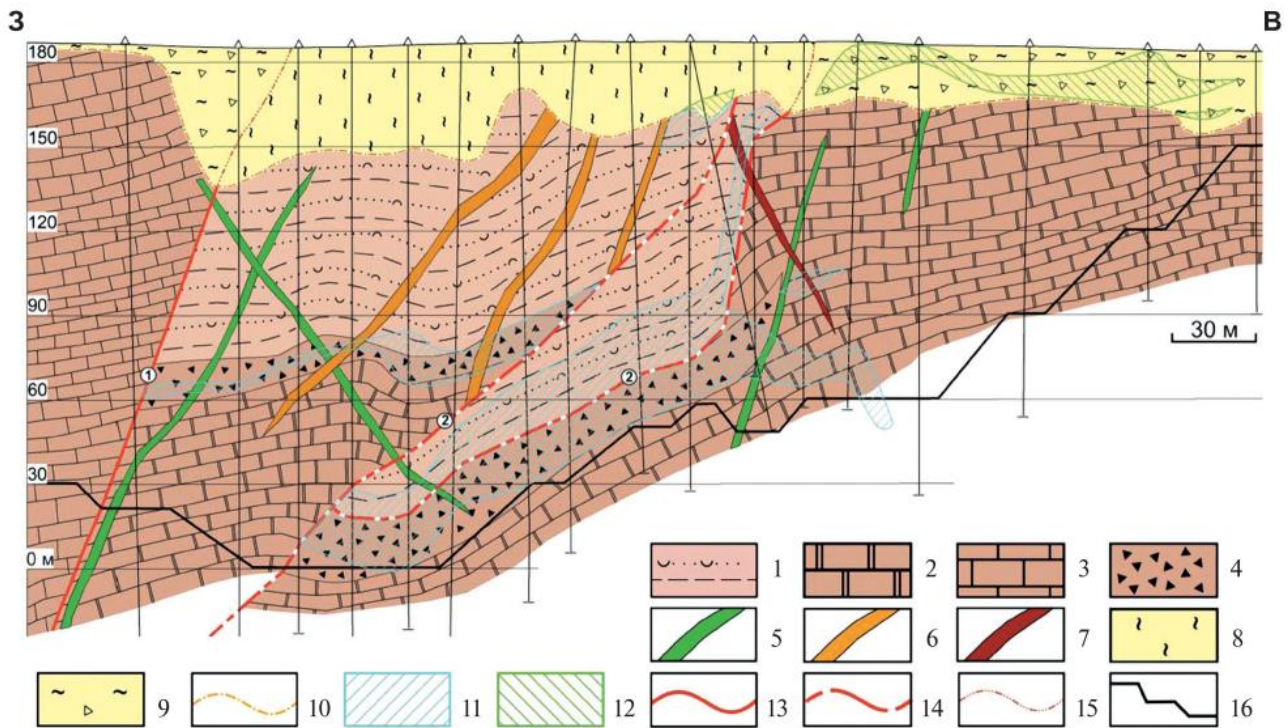


Рис. 6. Геологический разрез Воронцовского золоторудного месторождения, по материалам Воронцовской геологоразведочной партии (Бобров В.Н. и др.) и с учетом (Черемисин, Злотник-Хоткевич, 1997).

1–4 – краснотурьинская свита: 1 – вулканогенно-осадочная толща: туфопесчаники, туфоалевролиты с прослоями кремнистых алевролитов и известняков; 2–4 – карбонатная толща (2 – мраморы, 3 – известняки, 4 – известняковые брекчии); 5–7 – дайки диабазовых порфиритов (5), андезитовых и плагиоклазовых порфиритов (6), монцодиоритов (7); 8 – структурные коры выветривания; 9 – перемещенные коры выветривания; 10 – граница развития кор выветривания; 11 – первичные руды; 12 – окисленные руды; 13 – Воронцовский взброс; 14 – Воронцовский рудоконтролирующий надвиг; 15 – проекции разломов в коре выветривания; 16 – контур карьера.

Наиболее продуктивной частью геологического разреза на месторождении является нарушенная надвигом и сопряженными межпластовыми срывами зона контакта вулканогенно-осадочной толщи и подстилающих брекчиевидных известняков (Рис. 4) [4].

Горизонт карбонатных брекчий и брекчированных известняков не выдержан по простиранию, имеет мощность до 100 м. В нем локализованы основные рудные тела Воронцовского золоторудного месторождения.

Брекчии представляют собой полуокатанные и угловатые обломки известняка размером до 25 см, сцементированные глинисто-карбонатным и вулканогенно-осадочным материалом (Рис. 5): кремнистыми и известково-кремнистыми туфопесчаниками, туфоалевролитами, туфоаргиллитами.



Рис. 7. Карбонатные брекчии Воронцовского месторождения, в которых локализованы основные рудные тела.
[АО «Полиметалл Инжиниринг»]

Пирокластический материал представлен обломками плагиоклаза, редко амфибола и пироксена, обломками андезитов, редко андезито-дацитов. Скарновые зоны, развитые во фроловско-васильевской толще, являются основным рудовмещающим горизонтом Турьинского рудного поля [2].

Строение и состав руд Воронцовского месторождения

Рудные залежи приурочены к пологой моноклинали с ЗСЗ падением, концентрируясь на контакте известняков и перекрывающих их вулканогенных флишоидов – преимущественно тонкообломочных фаций. Вдоль контакта породы интенсивно брекчированы и в целом образуют мощную пологозалегающую сложнопостроенную зону малосульфидной минерализации. Она представляет собой золотоносные метасоматиты с мелкой, тонкорассеянной вкрапленностью и редкими прожилками сульфидов, несущих тонкодисперсное, микронное-субмикронное самородное золото [2].

В локализации первичных руд установлено влияние магматического, структурного, литологического, метасоматического, геохимического и минералогического контроля (Бобров, 2013).

Основные рудные тела расположены в северной части месторождения с наиболее сложным геологическим строением, где выявлено сочетание всех рудоконтролирующих факторов.

Промышленные запасы золота – 101 т, серебра – 120 т (Бобров, 2013). Среднее содержание в руде золота – 7 г/т, серебра – 8 г/т. В окисленных рудах заключено 30 т золота. Запасы месторождения по стандарту “JORC” составляли 61 т золота и 82 т серебра; ресурсы – 70 т золота и 100 т серебра (2009 г.). Годовое производство золота на Воронцовском руднике достигало 5 т (2011). В настоящее время рудник вступил в завершающую фазу.

Рудные тела приурочены к минерализованным зонам дробления.

На выходах первичных руд на поверхность в структурных и осложненных карстом корях выветривания образовались окисленные руды с глубиной залегания 0.2–80 (до 100) м, которые содержат приблизительно 30% запасов золота. В контуре карьера запасы окисленных руд составляют около 20 т при среднем содержании золота в них 6 г/т.

Месторождение опойсковано вдоль зоны Воронцовского разлома скважинами колонкового бурения по сети 200–160 x 80–40 м на 3200 м до глубины 500 м, на стадии предварительной разведки – изучено по сети 80–40 x 40 м на 2.7 км по простиранию и до глубины 290 м.

Первичные руды Главной рудной залежи месторождения прослежены по простиранию на 1200 м и на глубину 270 м. Ширина рудной зоны до 500 м. Мощность рудных тел, выделяемых только по опробованию с шагом 1 м, достигает 100 м.

Рудоносная зона имеет в плане вид субмеридионально вытянутой ленты. В пределах зоны выявлено и разведано 48 рудных тел, однако более 90% запасов сосредоточено в 4

основных рудных телах, эксплуатируемых северным и южным карьерами. Два из этих тел сложены окисленными рудами и два – первичными; остальные рудные тела являются сателлитами, располагаются вблизи главных со стороны висячего и, чаще, лежащего блоков [2].

Выделены природные типы руд:

- Первичные (Рис. 6) вкрапленные и прожилково-вкрапленные – в известняках и вулканогенно-осадочных породах;
- Окисленные (Рис. 7) в структурных и перемещенных в карстовые провалы и корях выветривания.

Все типы и подтипы руд характеризуются одинаковым распределением содержаний золота: в ~20% проб содержание золота выше 5 г/т Au и в ~10% проб – выше 10 г/т (Мурзин., 2017)

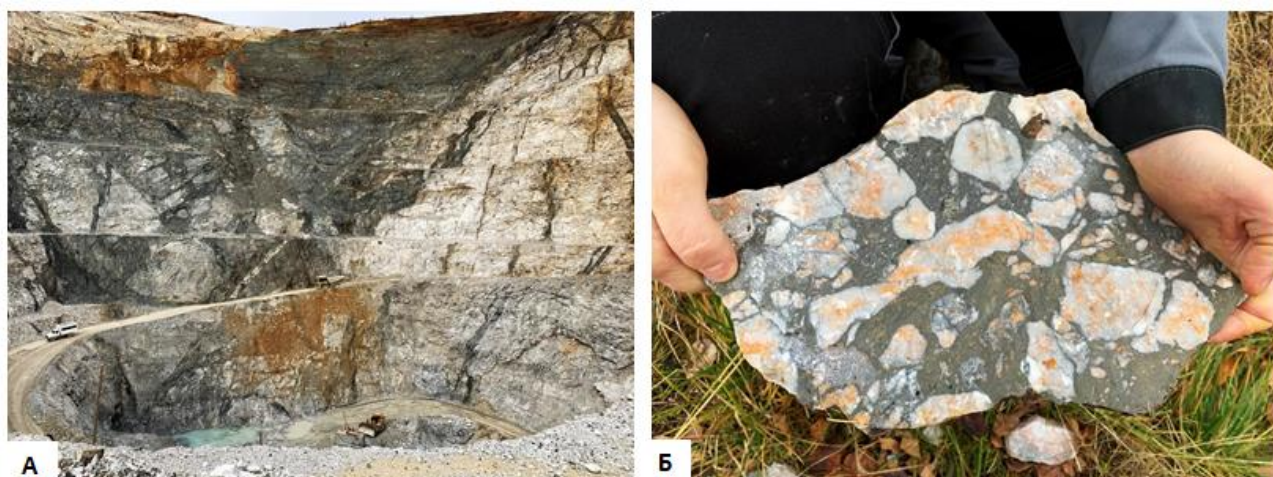


Рис. 8. Руды 1 типа – Первичные. В брекчированных известняках [АО «Полиметалл Инжиниринг»]

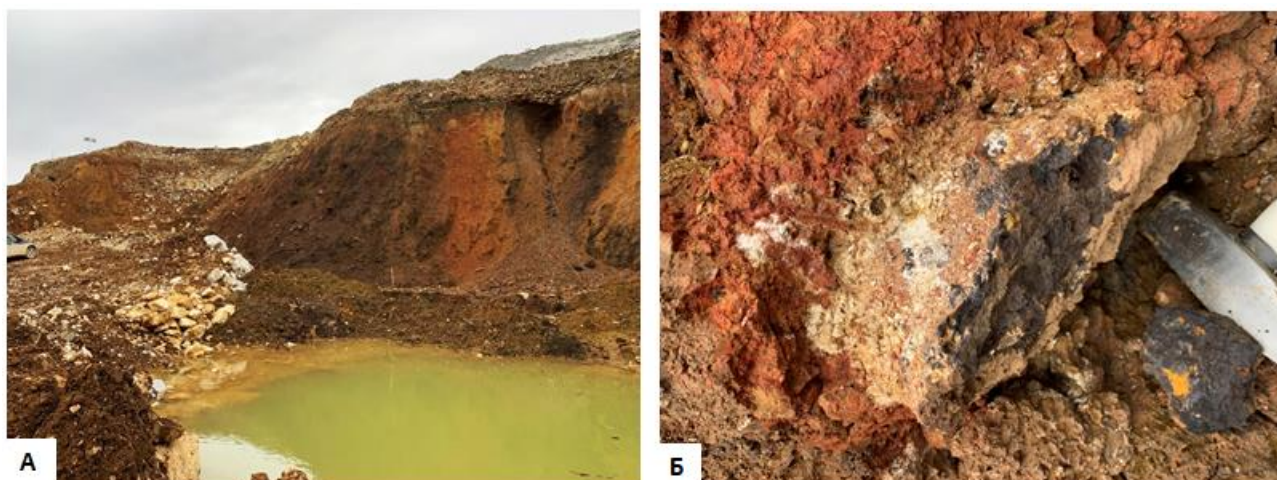


Рис. 9. Руды 2 типа – Окисленные. В корях выветривания [АО «Полиметалл Инжиниринг»]

Минералогическая лаборатория АО «Полиметалл Инжиниринг» утвердила следующую типизацию пород из подкарьерных запасов месторождения:

№	Типы пород	Распространение, %
1	Андезиты	4
2	Вулканыты хлоритизированные	5
3	Мраморы с реальгаром	2
4	Брекчии мраморов с силикатным цементом	28
5	Брекчии мраморов с сульфидно-карбонатным цементом	37
6	Брекчии мраморов с богатой сульфидной цинковой минерализацией	1
7	Скарны (вмещающие, гранатовые)	9
8	Скарны брекчированные	1
9а	Скарны магнетитовые	11
9б	Скарны пирит-пирротиновые и магнетит-пирит-пирротиновые	
10	Кварцевые жилы с медной минерализацией	2

2.1. Подземные горные работы

Андезиты (Пропилиты)

Породы серо-зеленого цвета, иногда с порфировидной структурой.

Порфиновые вкрапленники образованы измененным плагиоклазом желтовато-белого цвета (Рис. 11). Основная масса породы сложена хлоритом. По трещинам и на сколах породы развиваются оксиды железа и кальцит. Рудная минерализация представлена пиритом в виде рассеянной вкрапленности и прожилков, в единичных случаях встречен халькопирит.

Представленные породы слагают верхнюю часть разреза и сменяются нижележащими гранат-карбонатными скарнами. Количество вкрапленников плагиоклаза бежевого и зеленовато-бежевого цвета 30-50 %, размер вкрапленников 1-4 мм, реже достигают 7 мм. На контакте со скарнами породы имеют однородную структуру, и содержат единичные вкрапленники плагиоклаза размером 1-3 мм. В интервалах на контакте со скарнами сульфиды встречены в виде вкрапленников, прожилков мощностью до 4 мм и сплошных гнёзд размером около 1 см (Рис....). Количество сульфидов, по визуальной оценке, 5-7 %.

По минеральному составу породы целесообразнее называть пропилитами, а не андезитами.



Рис 10. Пропилиты (Образец А3)

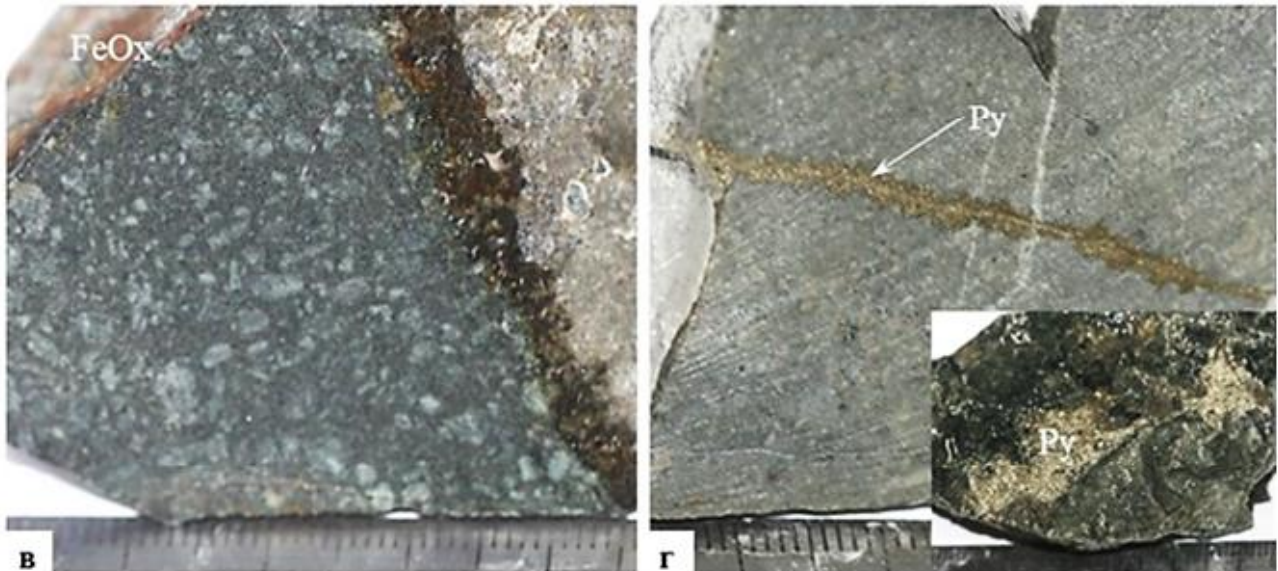


Рис 11. Макрофотографии пропилитов из подкарьерных запасов месторождения Воронцовское (в-г). [АО «Полиметалл Инжиниринг»]
Py – пирит, FeOx- гидроксиды железа

Мраморы с реальгаром и их брекчии

Брекчии слагают верхнюю часть разреза, где пространственно сопряжены с брекчиями с карбонатным цементом: в большинстве проб одновременно присутствует оба типа брекчий. Цемент состоит из кварца, хлорита, шамозита, мусковита, кальцита, смеси калиевых полевых шпатов и альбита.

Мрамор рассечён рыжевато-бежевыми доломитовыми прожилками (Рис. 13а).

Вкрапленники брекчий представляют собой преимущественно кальцитовые породы с включениями реальгара.

Минерал либо равномерно распределен по объему и, тогда порода имеет рыжий цвет (от бледного до насыщенного, в зависимости от количества реальгара), либо образует локальные ярко-рыжие вкрапления размером от нескольких миллиметров до 1-2 см и прожилки мощностью до 3 мм, тогда порода имеет бежевую или серую окраску с рыжими пятнами или прожилками.

Структура по большей части среднезернистая, хотя встречаются образцы с мелкозернистой и крупнозернистой структурой. Встречаются как массивные мраморы с реальгаром, так и их брекчии с силикатным цементом. Преобладающим рудным минералом является реальгар, его среднее содержание около 4 %. Иногда по реальгару развивается аурипигмент. Отмечено присутствие редкой вкрапленности и тонких прожилков пирита, а также оксидов и гидроксидов железа – гетита и гематита.

Такие мраморы с реальгаром встречены в средней и нижней части разреза в виде фрагментов в брекчии с силикатным цементом. Причем в некоторых пробах реальгар присутствует также и в цементе брекчий.

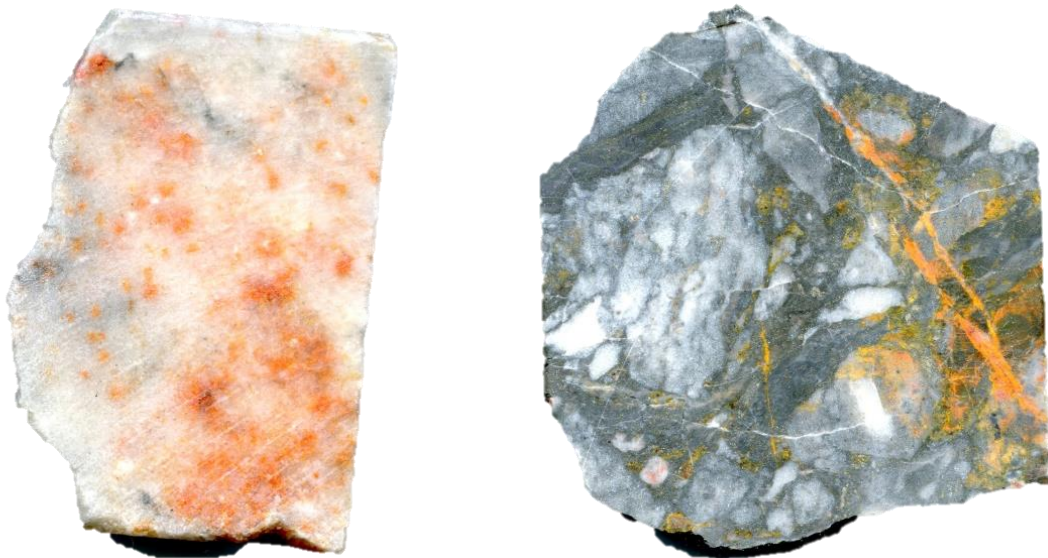


Рис 12. Мраморы с реальгаром (Образцы А1-А2)

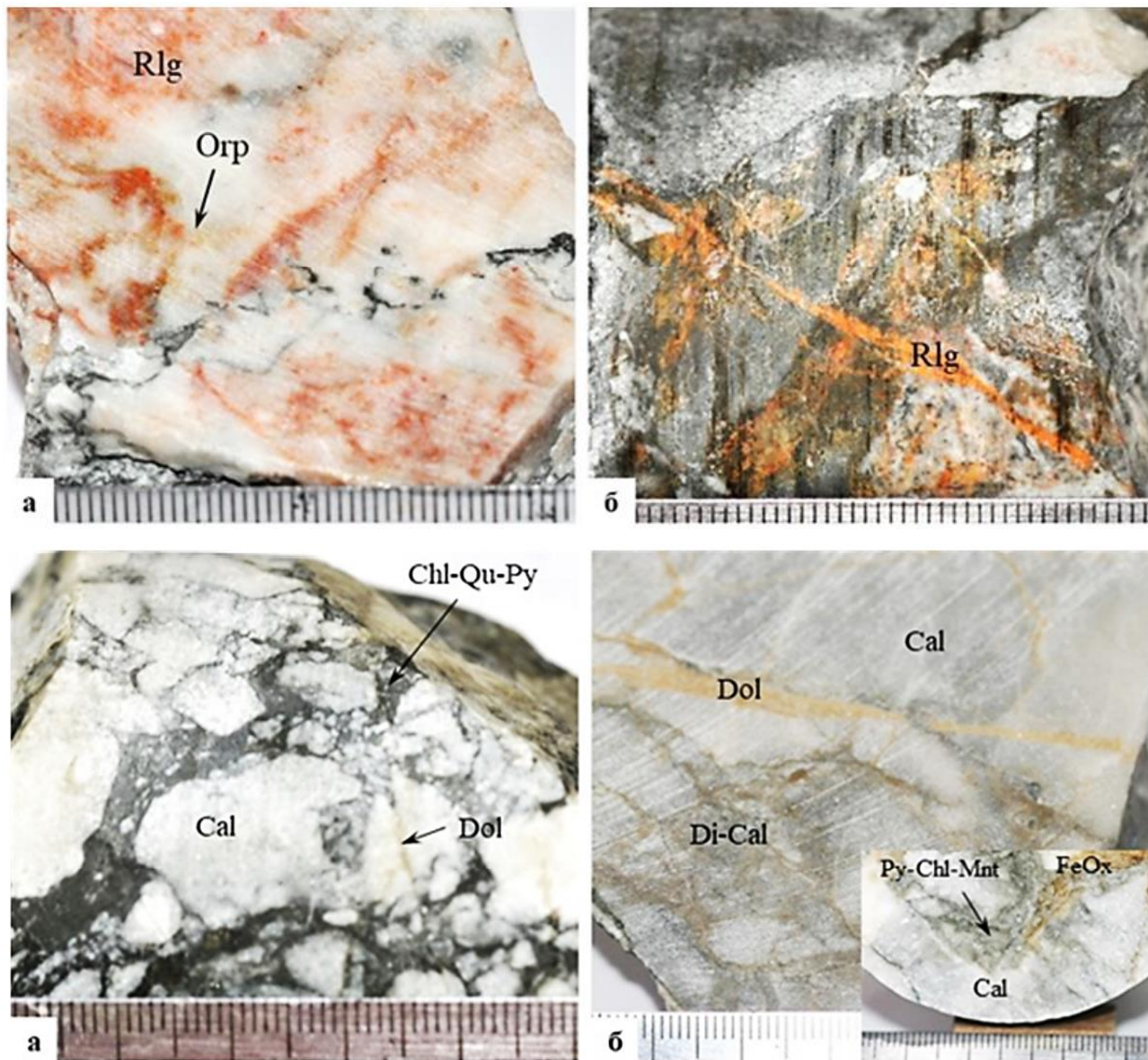


Рис 13. Макрофотографии брекчий мраморов из подкарьерных запасов месторождения Воронцовское. [АО «Полиметалл Инжиниринг»]
 Py – пирит, Qu – кварц, Cal – кальцит, Dol – доломит, Di – диопсид, Chl – хлорит, Mnt – монтмориллонит, FeOx – гидроксиды железа, Rlg – реальгар, Orp - Аурипигмент

Брекчии мраморов с богатой сульфидно-цинковой минерализацией

Брекчия мраморов с богатой сульфидно-цинковой минерализацией представлена в нижней части рудного пересечения, где слагает прослой в брекчиях с карбонатным цементом. Порода зеленовато-коричневого, реже – белого цвета.

Мрамор белого и серого цвета мелкозернистой, иногда крупнозернистой структуры. Сульфидный цемент образует сплошные гнездообразные скопления, реже прожилки и вкрапленники в мраморе (Рис. 14).

Рудная минерализация составляет около 30% и представлена мелко и крупнозернистым пиритом, крупнозернистыми гипидиоморфнозернистыми агрегатами сфалерита и халькопирита, в единичных образцах встречен арсенопирит.

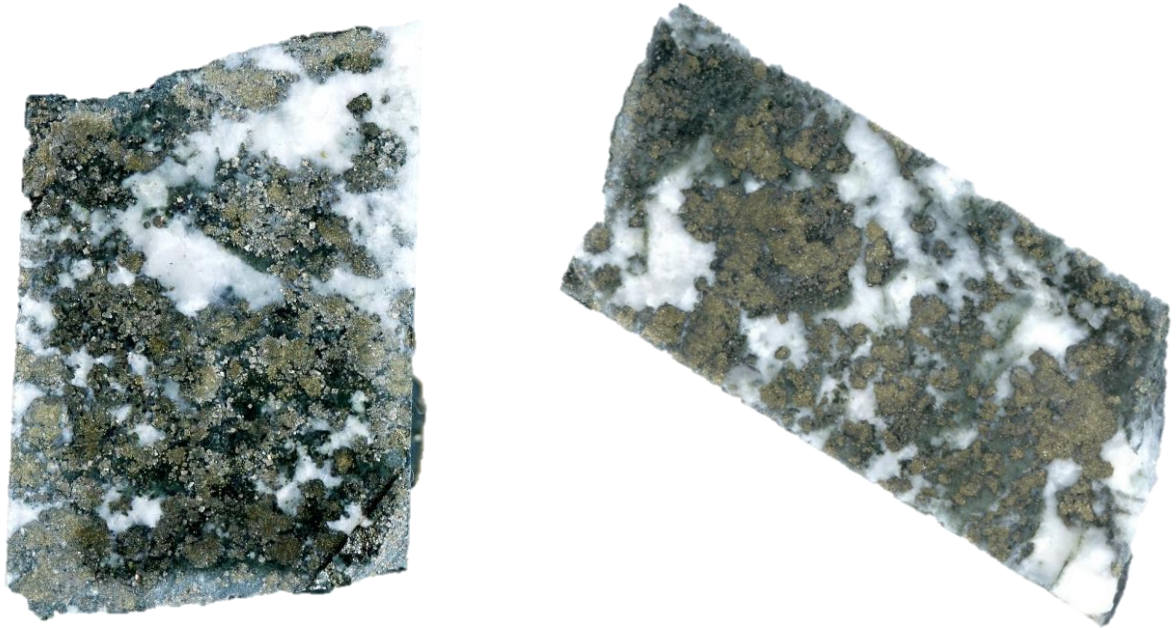


Рис 14. Брекчии мраморов с богатой сульфидно-цинковой минерализацией (Образцы А8-А9)

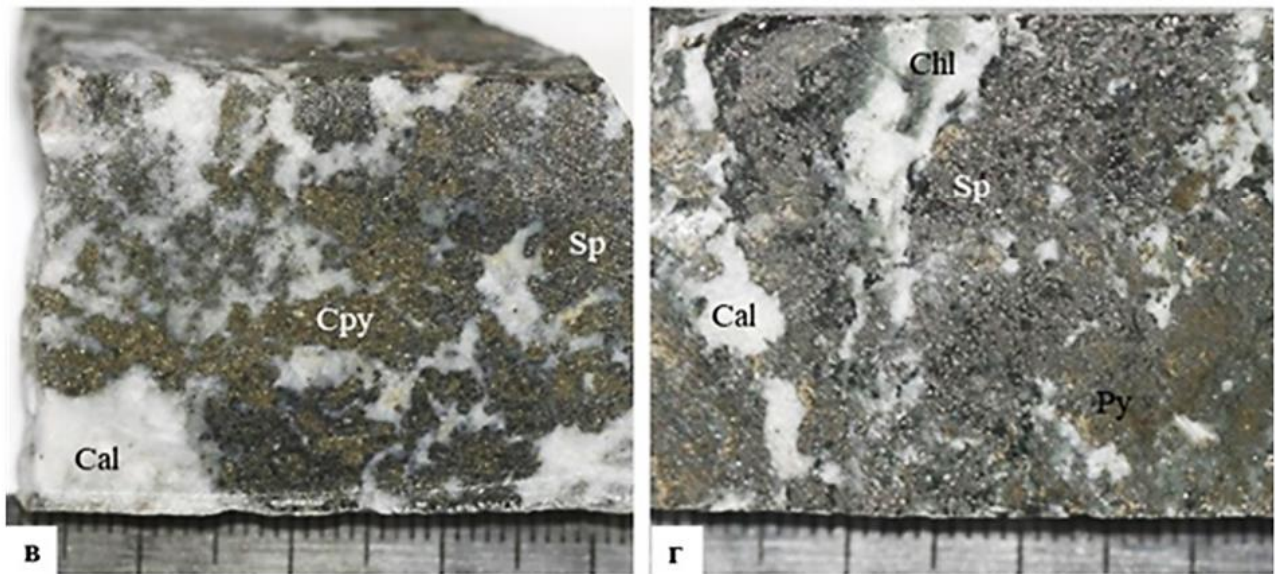


Рис 15. Макрофотографии богатых сульфидами брекчий из подкарьерных запасов месторождения Воронцовское. [АО «Полиметалл Инжиниринг»]
Py – пирит, Cpy – халькопирит, Sp – сфалерит, Cal - кальцит, Chl - хлорит

Скарны гранатовые

Породы зеленого и зелено-бежевого цвета, гетеронематобластовой структуры.

Характерные минералы: гранат андрадит-гроссулярового ряда. Гранаты иногда формируют зональные кристаллы размером до 1,5 мм. В зонах контактов скарнов встречаются хлорит-ортоклаз-альбит-кварцевые и доломитовые породы.

Рудная минерализация представлена пиритом, сфалеритом, халькопиритом, в отдельных пробах присутствуют галенит. В нескольких образцах встречено самородное золото в жильном кварце. Среднее содержание рудных минералов в данном литотипе 5,5 %, при вариациях от 1,5 до 15-20 %.

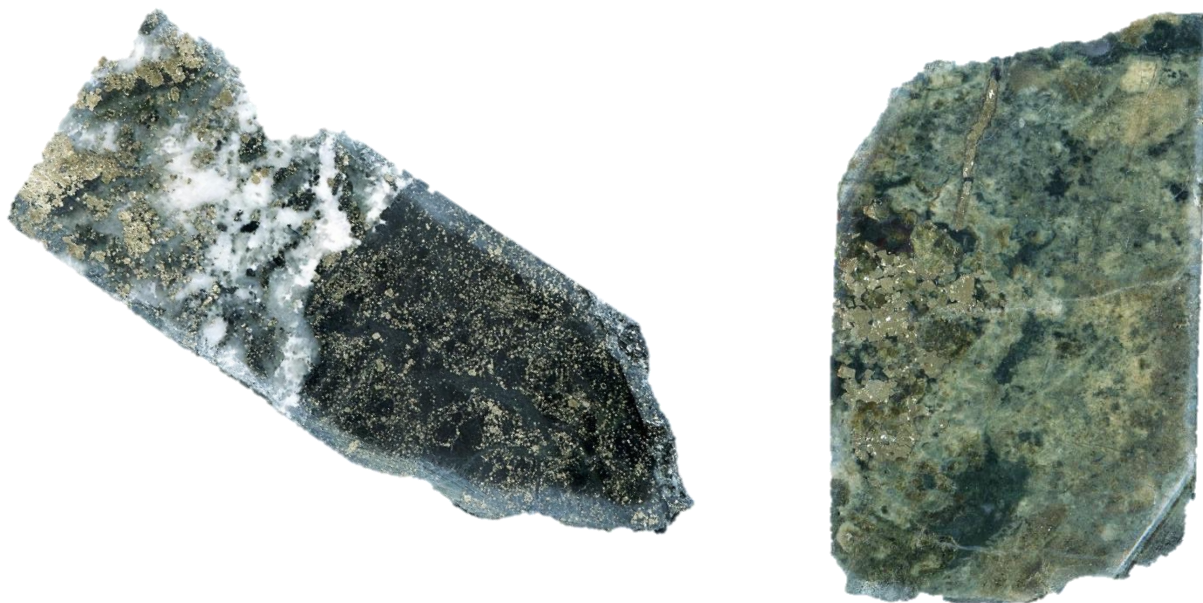


Рис 16. Скарны гранатовые (Образцы А5-А7, А4)

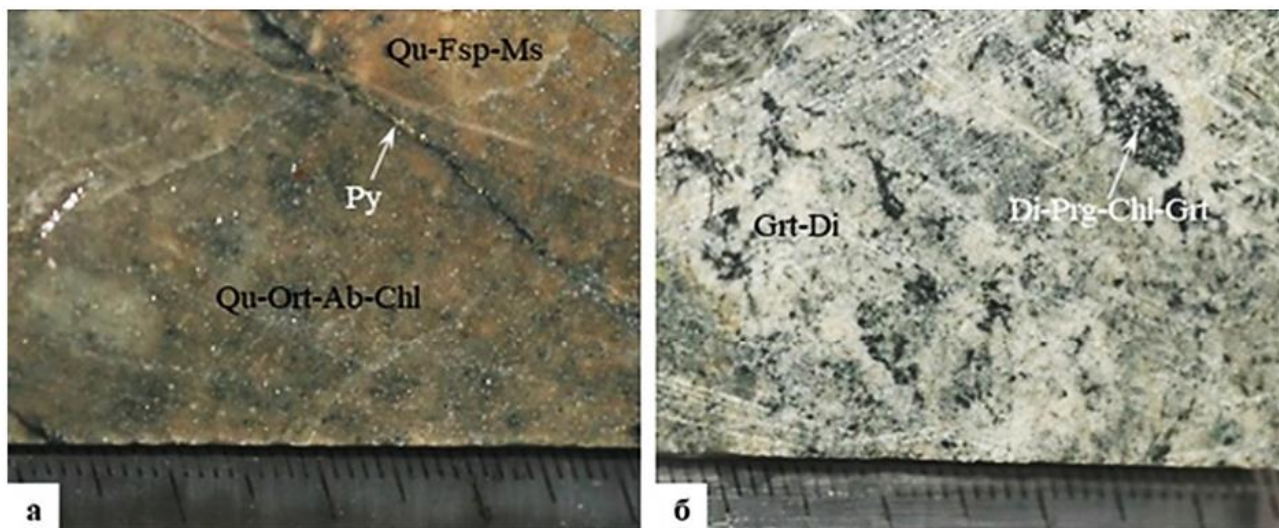


Рис 17. Макрофотографии скарнов из подкарьерных запасов месторождения Воронцовское.

[АО «Полиметалл Инжиниринг»]

Qu – кварц, Py – пирит, Ort – ортоклаз, Ab – альбит, Fsp – полево шпат, Ms – мусковит, Chl – хлорит,
Grt – гранат, Di – диопсид, Prg – паргасит, Ep – эпидот, Chm – шамозит

2.2. Коры выветривания

Дресвяно-глинистые породы

Порода коричневого и светло-коричневого цвета.

Встречаются оттенки бежевого (каолинитовые), серо-коричневого (карбонатные), рыжего (гётитовые) и розового (гематитовые).

Породы состоят из глины – 45-60 %, песчаной составляющей – 25-30 % и дресвяно-щебнистых, редко – гравийно-галечных обломков – 10-25 %.

Породы слабо-средне сцементированы. Текстура пород массивная, обломочная, редко пятнистая и линзовидная (гематит и каолинит) в глинах. Приповерхностные породы представлены покровными тёмно-коричневыми отложениями, глинисто-песчаного состава с галькой размером до 2,5 см.

Слагающие минеральные компоненты: кварц, каолинит, иллит, гётит, гематит.

Состав обломков – кварцевая галька: кварц от бежевого полупрозрачного до молочного, сахаровидный, реже светло-серого цвета скрытокристаллический, окисленный на поверхности и по тонким трещинам; обломки сильно изменённых пород; обломки песчаников с марганцевой минерализацией; гематит; магнетит и марганцевые оксиды.

Размер обломков – 2-15 мм, в единичных пробах встречаются обломки коренных известняков 3-7 см, иногда с тонкой вкрапленностью пирита и крупная каолинит-кварцевая галька размером – 5 см.

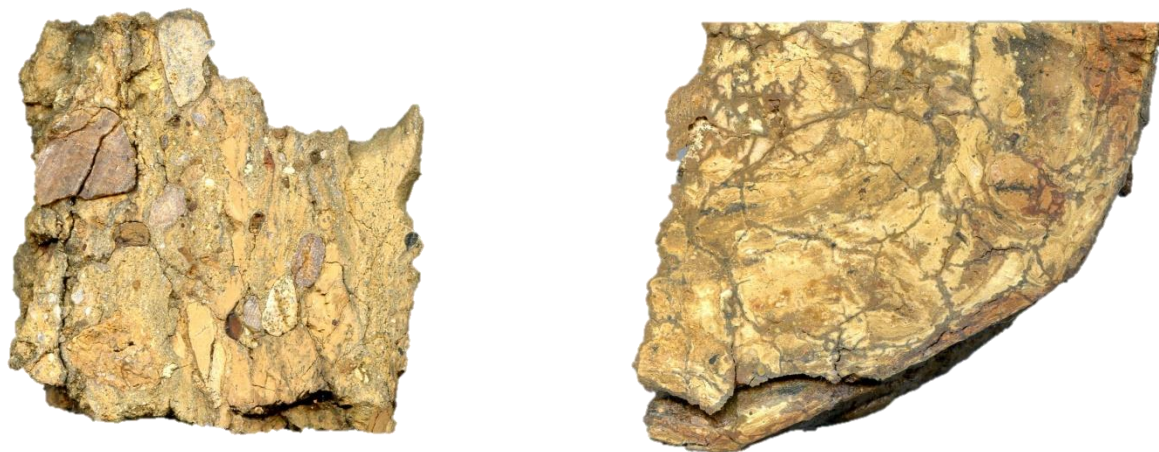


Рис 18. Окисленные руды (Образцы B1-B2)

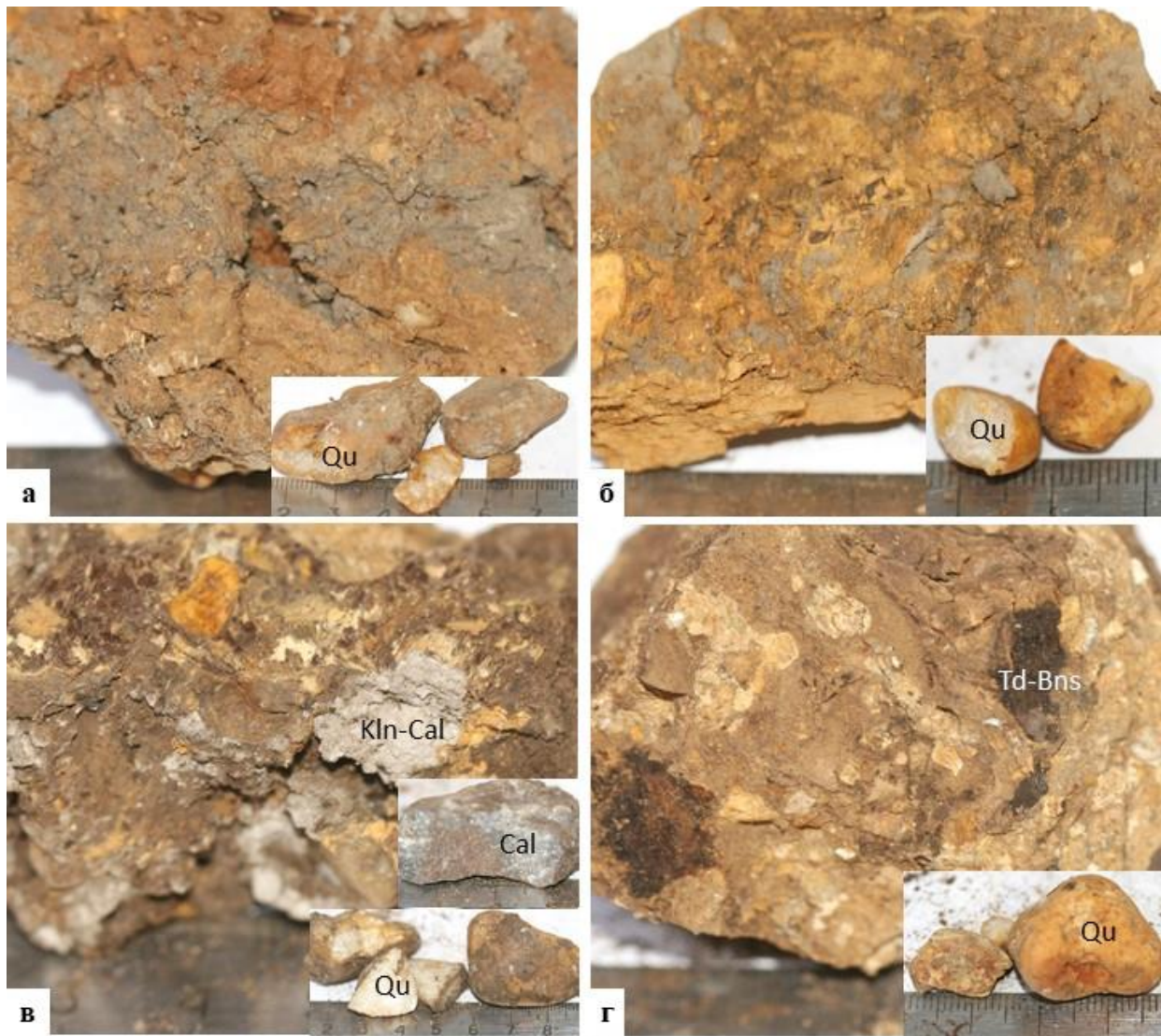


Рис 19. Окисленные руды западного участка месторождения Воронцовское:
 Литотип: Дресвяно-глинистые породы и их обломки. [АО «Полиметалл Инжиниринг»]
 Qu – кварц, Kln – каолинит, Cal – кальцит (мраморизованный известняк), Td – тодорокит, Bns – бирнессит

Дресвяно-глинистые породы с выраженной глинистой составляющей

Оттенки цвета породы: красные (за счёт гематита) и бежевые (за счёт каолинита), реже зеленоватые и розоватые. Текстура пород часто пёстрая, пятнистая (за счёт первичной вулканической текстуры), слоистая и линзовидная (каолинит, гематит). Глинистая составляющая представлена отдельными плотными массами бежевого цвета и серо-бежевыми кусочками

Обломки, помимо вышеперечисленных в типе 1, представлены кварцевой галькой с механической примесью гематита.

Бежевые вкрапления состоят из каолинита, иллита, полевых шпатов (ортоклаз и микроклин) и кварца, красный цвет обусловлен наличием тонко рассеянного гематита.

Коричневые корочки на поверхности глинистых кусочков сложены бирнесситом, тодорокитом

и гётитом, сами глинистые кусочки серого цвета состоят из иллита, каолинита и кварца, следов пирита.

Жёлтые вкрапления в глинах состоят из кварца, каолинита, гётита, иллита и анатаза. Бежевые глинистые обломки состоят из каолинита и кварца.

Зеленоватые обломки изменённых пород состоят из кварца, хлорита и гранатаgrossуляра. Коричнево-серые обломки изменённых пород состоят из кварца, каолинита, иллита и анатаза.



Рис 20. Окисленные руды (Образец Б3)

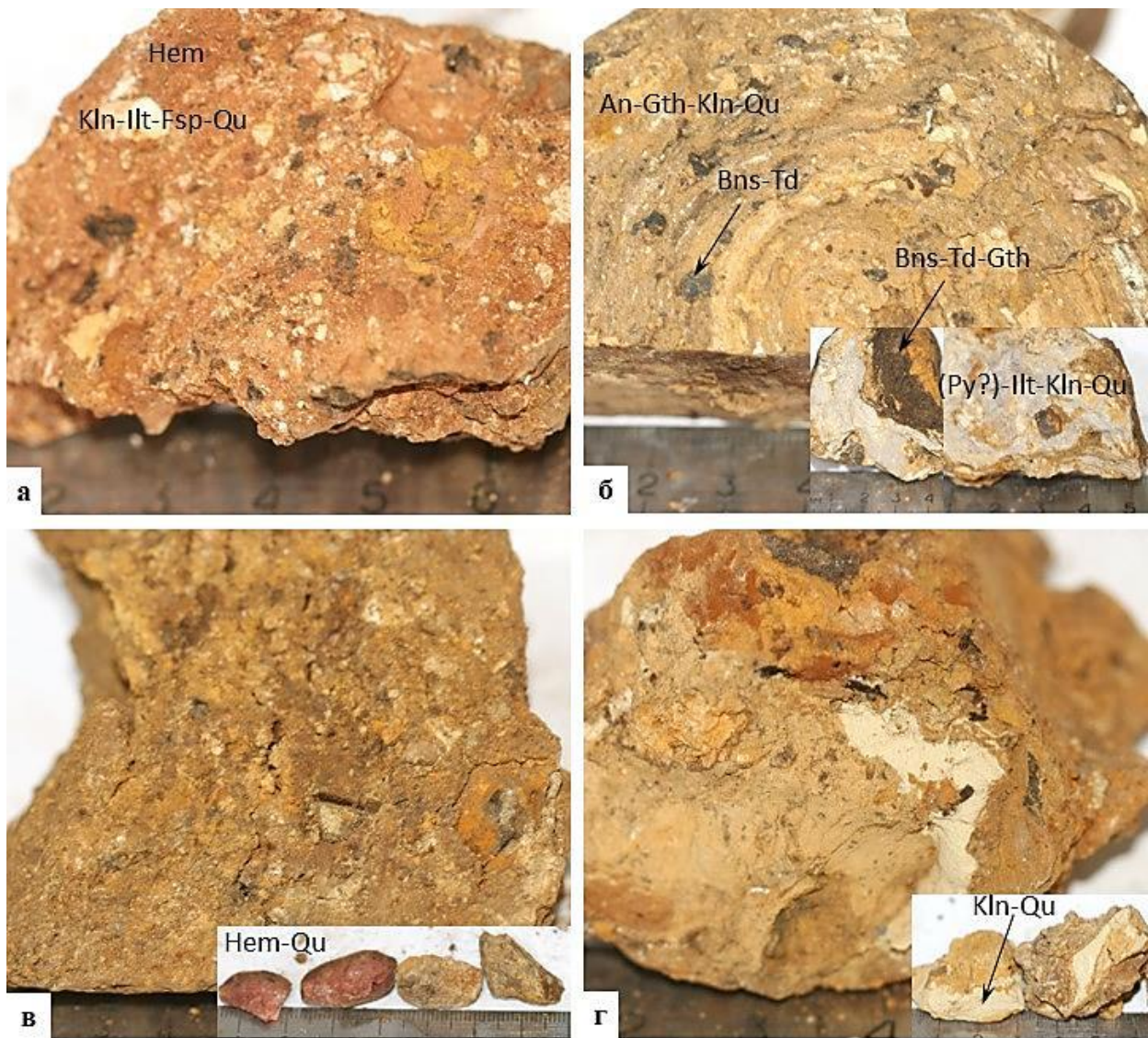


Рис 21. Макрофотографии окисленных руд западного участка месторождения Воронцовское: дресвяно-глинистые породы с выраженной глинистой составляющей и их обломки. [АО «Полиметалл Инжиниринг»]

Hem – гематит, Kln – каолинит, Ilt – иллит, Fsp – полевые шпаты, Qu – кварц, An – анатаз, Gth – гётит, Bns – бирнессит, Td – тодорокит, Py – пирит, Grt – гранат, Chl - хлорит

3.1. Подземные горные работы

Пропилиты

Представленный образец отражает в себе контакт обломка карбонатной брекчии с пропилитом. Текстура породы массивная, структуру можно охарактеризовать как мелкозернистую. В зоне брекчии – начально-бластическую, характерную для метagenетических преобразований.

Основная масса породы сложена хлоритом. Хлорит тонкозернистый, слагает мономинеральные массы в отдельных участках породы. Часто вмещает в себе скопления пирита. Хлорит придает породе её серо-зеленый цвет.

Брекчиевая часть шлифа представлена мрамором (до 90% кальцита). Зерна кальцита достигают 300 мкм. Подробное описание мраморов будет представлено далее.

Пирит встречается в виде россыпей, зерна имеют форму куба и пентагон додекаэдра. Размеры варьируют от 3 мкм в мелких россыпях до 30-50 мкм. Кроме пирита встречаются единичные зерна халькопирита до 10 мкм.

Исходя из минерального состава породы, можно отметить постепенное течение процесса пропилитизации.

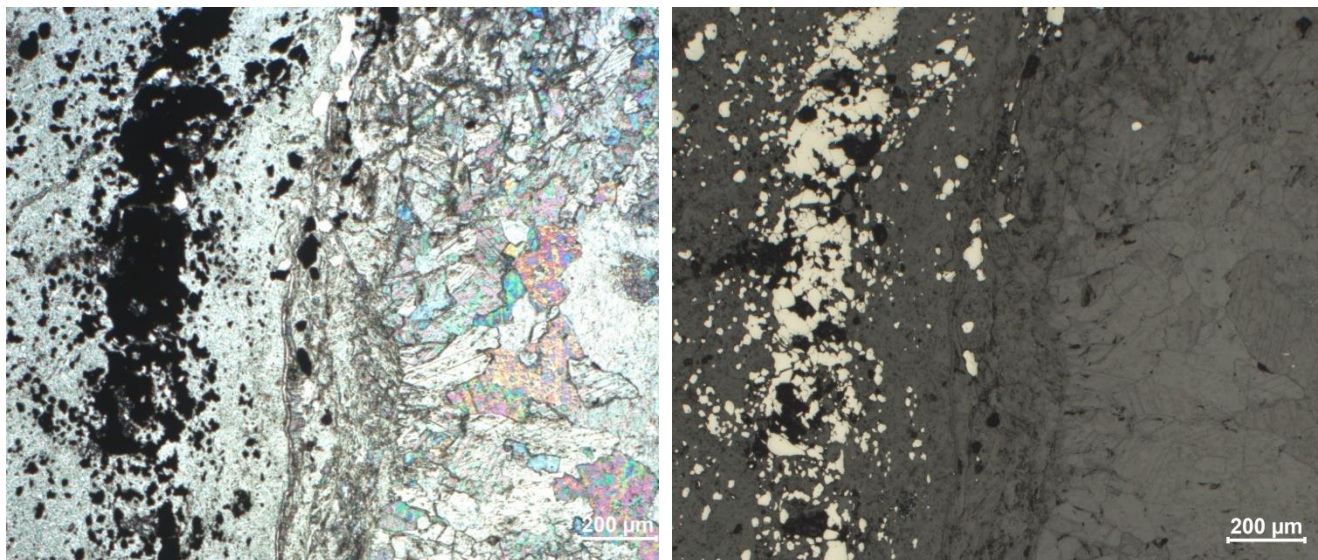


Рис 22. Пропилиты. Шлиф А3, пол. и отр. свет, 5х.

Мраморы с реальгаром и их брекчии

Порода представляет собой классический мрамор. Карбонаты (по большей части, кальцит) составляют до 85-90% от общей массы. Зерна очень крупные, плотно прилегают друг к другу. Текстура породы массивная. Структура средне-крупнозернистая, конформная. Небольшую долю в породе занимает кварц (около 5%). Для него характерны оформленные кристаллы, что говорит об образовании на ранней стадии формирования породы. Кроме кальцита во внешнем облике породы хорошо заметен реальгар.

Реальгар имеет характерную ярко-рыжую окраску, механически подкрашивая минералы вокруг себя. Он представлен прожилками мощностью до 3 мм и отдельными зернами до 550 мкм. Морфологически заметно более ксеноморфен по сравнению с кальцитом, следовательно, образовался на более позднем этапе. Тонкие вкрапления распространены по всей породе, часто приурочены к границам зерен. Можно утверждать, что реальгар, наряду с другими рудными минералами, выполняет роль цементирующего вещества. Тип цемента - контурный, пятнистый до островного, проникновения.

Рудная минерализация представлена пиритом, стибнитом, гуэттардитом.

Пирит в виде россыпей округлых зерен в карбонатах. Зерна этих сульфидов располагаются внутри зерен и прожилок реальгара и в основном сконцентрированы по его контактам с вмещающими карбонатами.

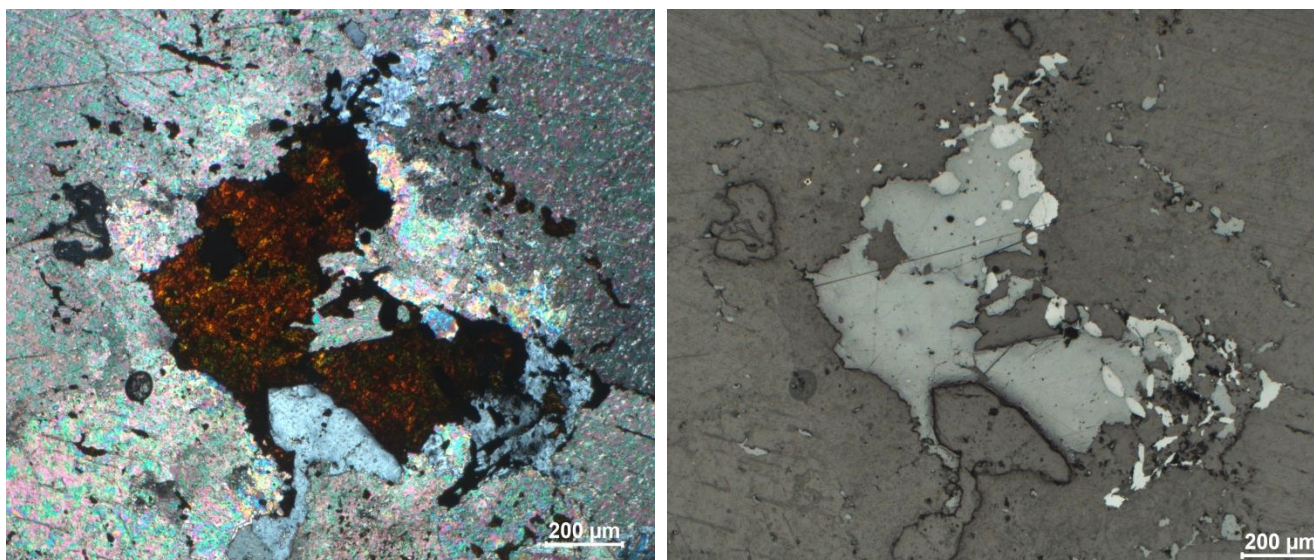


Рис 23. Мраморы с реальгаром. Шлиф А2(1), пол.свет (слева) и отр.свет, 5х.

Брекчии мраморов с богатой сульфидно-цинковой минерализацией

Основными слагающими минералами в породе являются кальцит (до 40%) и пирит (до 25-30%). Плотная структура карбонатов здесь аналогична той, что описана в прошлом литотипе.

Наряду с кальцитом, но в меньшей степени, проявлены кварц и барит. Оба минерала имеют оформленные кристаллы. Важно отметить, что кальцит более ксеноморфен, чем барит. Структура конформная до начально-бластической.

Основная масса из этих компонентов вмещает в себе крупные кристаллы различных сульфидов – пирита, халькопирита, арсенопирита и сфалерита.

Пиритовая масса крупно-гигантозернистая. Размеры до 500 мкм. Скопления пирита пропитаны жилками сфалерита по трещинам. Что явно говорит о более поздней стадии формирования последнего. Халькопирит редко встречается в виде отдельных зерен, чаще всего – в виде маркирующих включений в сфалерите. Вероятно, является разделительной границей двух этапов кристаллизации сфалерита.

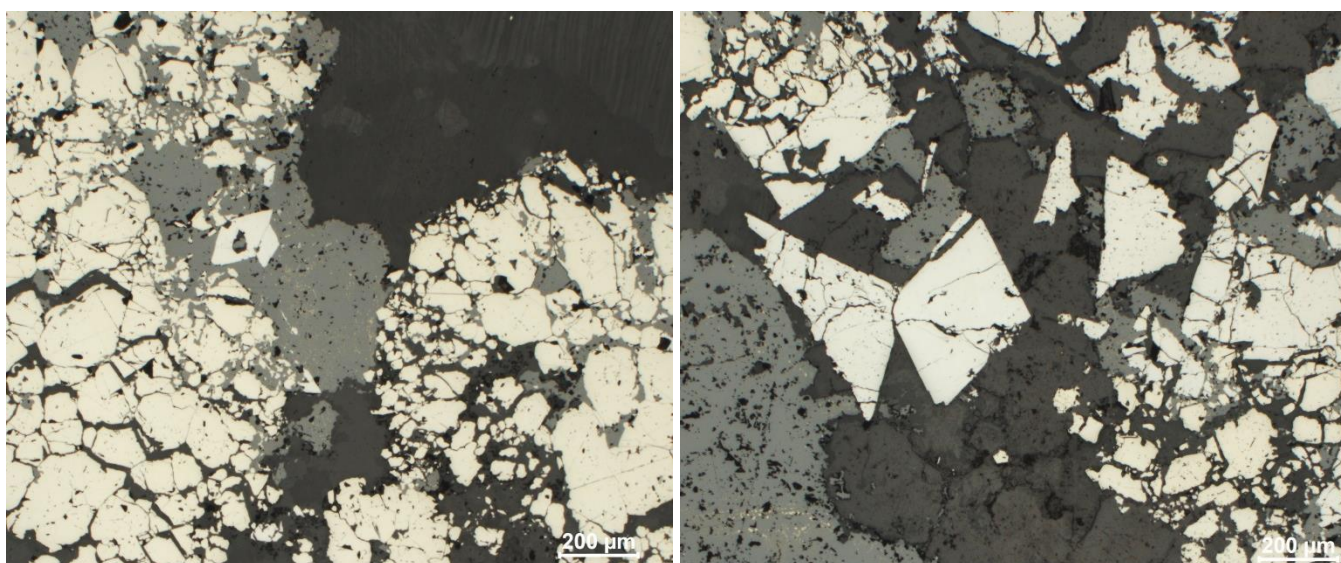


Рис 24. Сульфидно-цинковая минерализация в мраморе. Шлиф А8-А9, отраженный свет, 5х.

Арсенопирит хорошо узнаваем по характерным ромбическим срезам. Размер кристаллов также до 500 мкм и более. Это один из самых ранних минералов в этом парагенезисе, судя по его четким формам. Но есть также и менее свободно закристаллизованный арсенопирит, что указывает на наличие, минимум, двух стадий формирования породы.

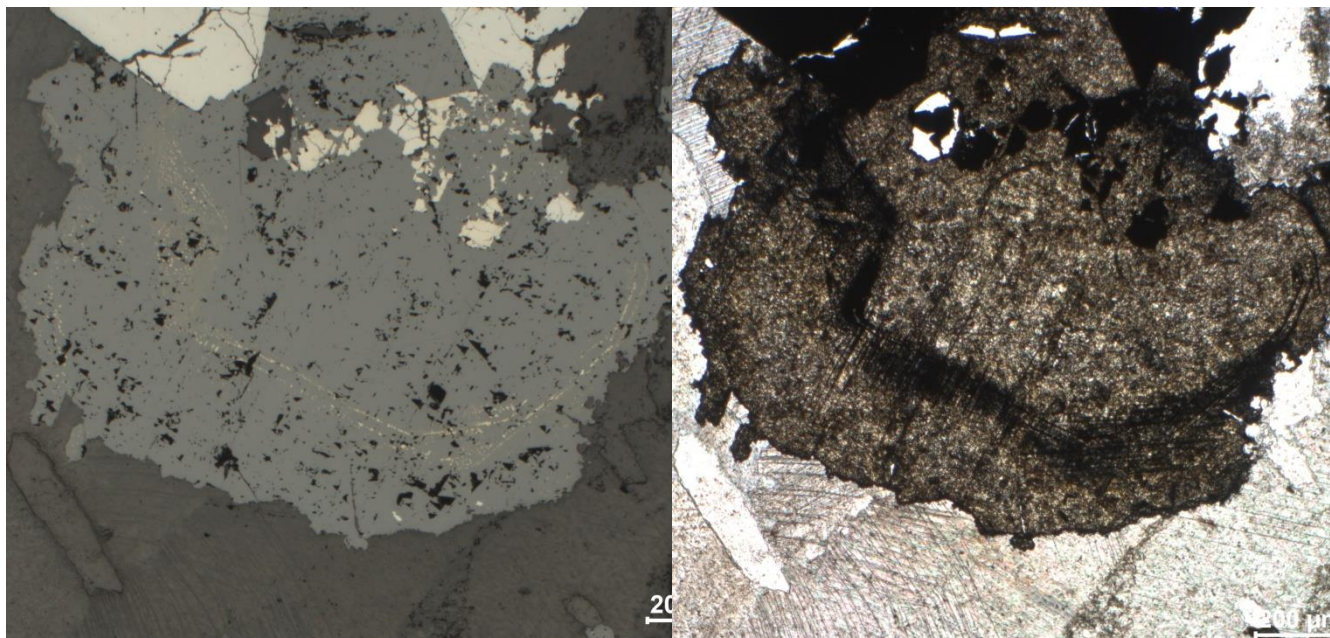


Рис 25. «Нити» халькопирита в сфалерите. Шлиф А9, отр. и прох. свет, 5х.

Роль цементирующего вещества выполняют сами сульфиды, чаще всего сфалерит. Такой цемент можно охарактеризовать как закрытый поровый, пятнистый, проникновения. Это характеризует время его образования – метагенез.

Скарны гранатовые

Основную массу породы составляет гранатgrossуляр-андрадит (около 70%). Также значительную долю занимает кальцит (до 20%). Текстуру породы можно описать как массивную, структура – нематогранобластическая. Зерна граната крупные, до 300 мкм, идиоморфные, что указывает на раннее время их формирования относительно кальцита.

Важно отметить, что зерна гранатов зональные. Их внешние границы замещены хлоритом – это наглядно прослеживается в скрещенных николях благодаря аномальной интерференционной окраске хлорита. В некоторых участках проявлены следы изменений в виде крестообразных оттисков-трещин. Этот процесс произошел уже после формирования самой породы.

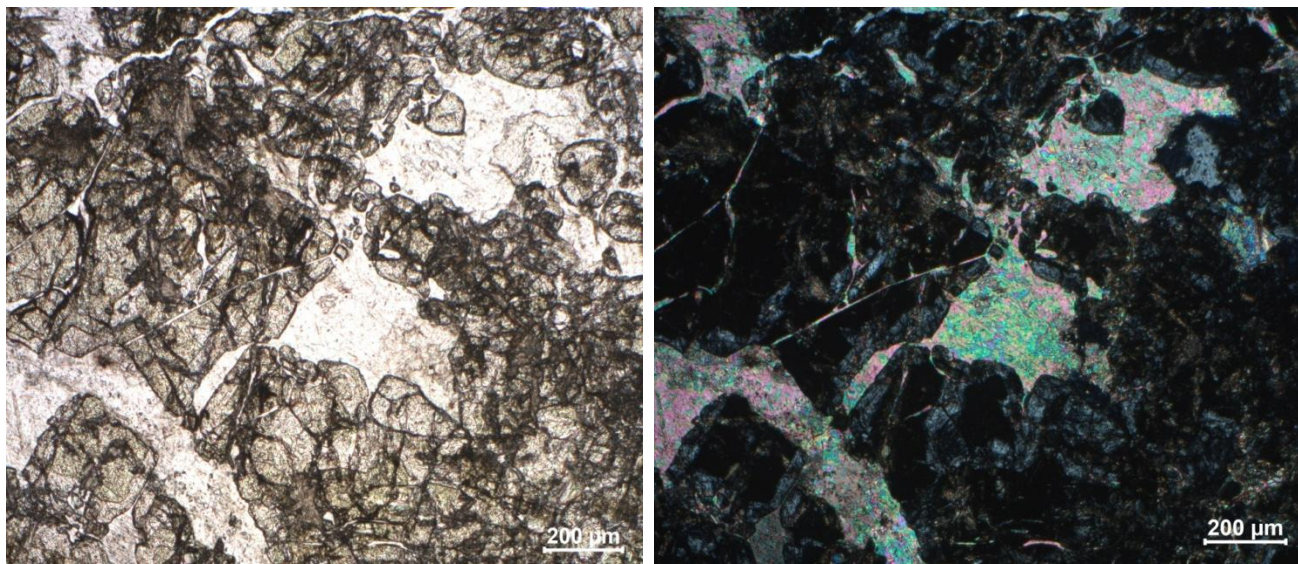


Рис 26. Шлиф А4. Гранатовая основная масса, пр. и пол. Свет, 5х

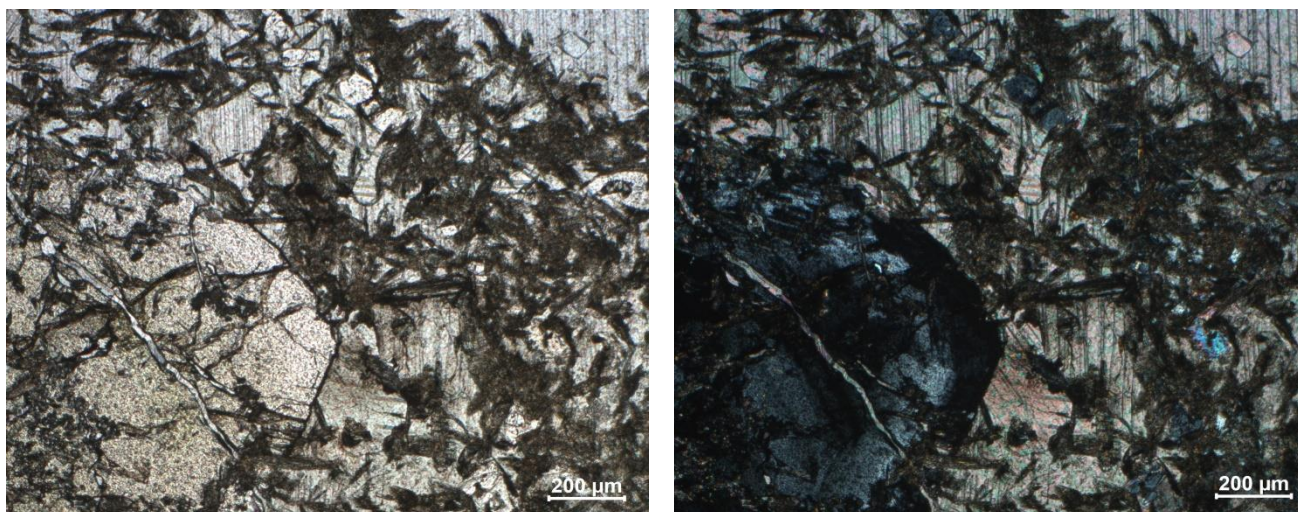


Рис 27. Шлиф А4. Зональное зерно граната. Крестовидные следы изменений,
пр. и пол. свет, 5х

Кальцит в данной породе является цементирующим веществом – заполняет собой трещины в сплошной гранатовой массе. Отдельные кристаллы имеют размеры до 150 мкм, но в целом минерал представлен в виде мелкозернистой ксеноморфной массы.

Рудная минерализация представлена пиритом, халькопиритом и галенитом. Минералы проявлены в виде жил и мелких включений. Пирит образует наиболее крупные мономинеральные жилы, мощностью до 600 мкм. Халькопирит и галенит встречаются реже и в виде мелких вкраплений (около 25 мкм).

3.2. Окисленные руды (ПГР)

Породы представляют собой слабосцементированную, ожелезненную массу, в которой заключены обломки кварца и полевых шпатов.

Сильное ожелезнение и рыхлая текстура делают исследование этих пород оптическими методами очень затруднительным. Интерференционная окраска минералов полностью скрыта за сильными рыжими рефlekсами, а многие включения слабо закреплены, поэтому выпадают при изготовлении препарата.

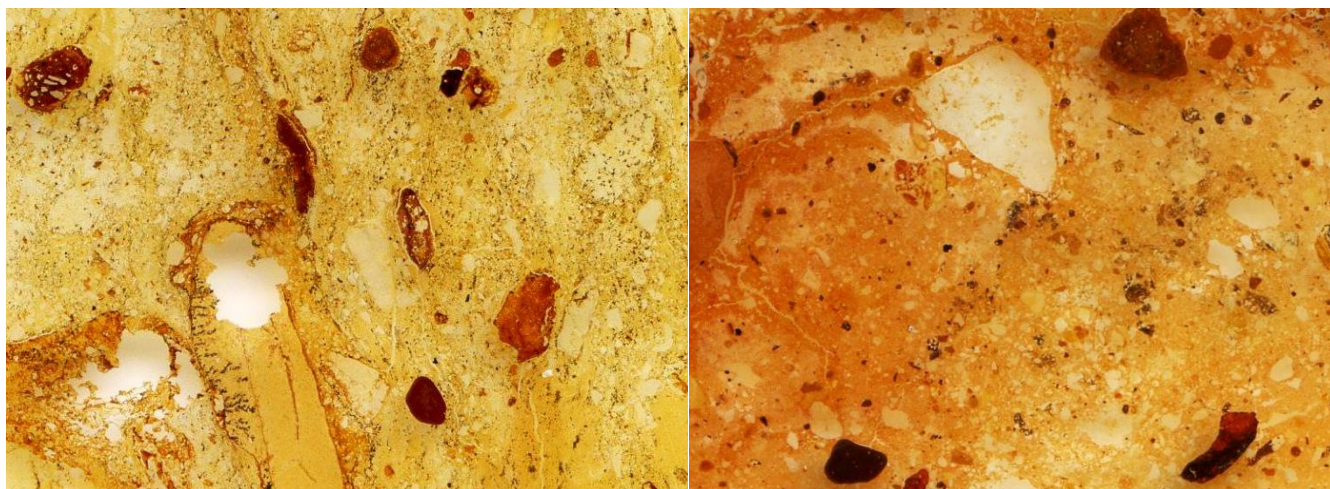


Рис 28. Шлиф Б1,Б2. Окисленные руды.

С преобладающим гетитом (слева) и гематитом (справа), прох.свет, 5х

Рентгеноспектральный анализ тоже дал критически завышенные результаты по кремнию и, особенно, железу, что поставило под сомнение точность диагностики. Поэтому было решено подтвердить минеральный состав породы при помощи рентгенофазового анализа.

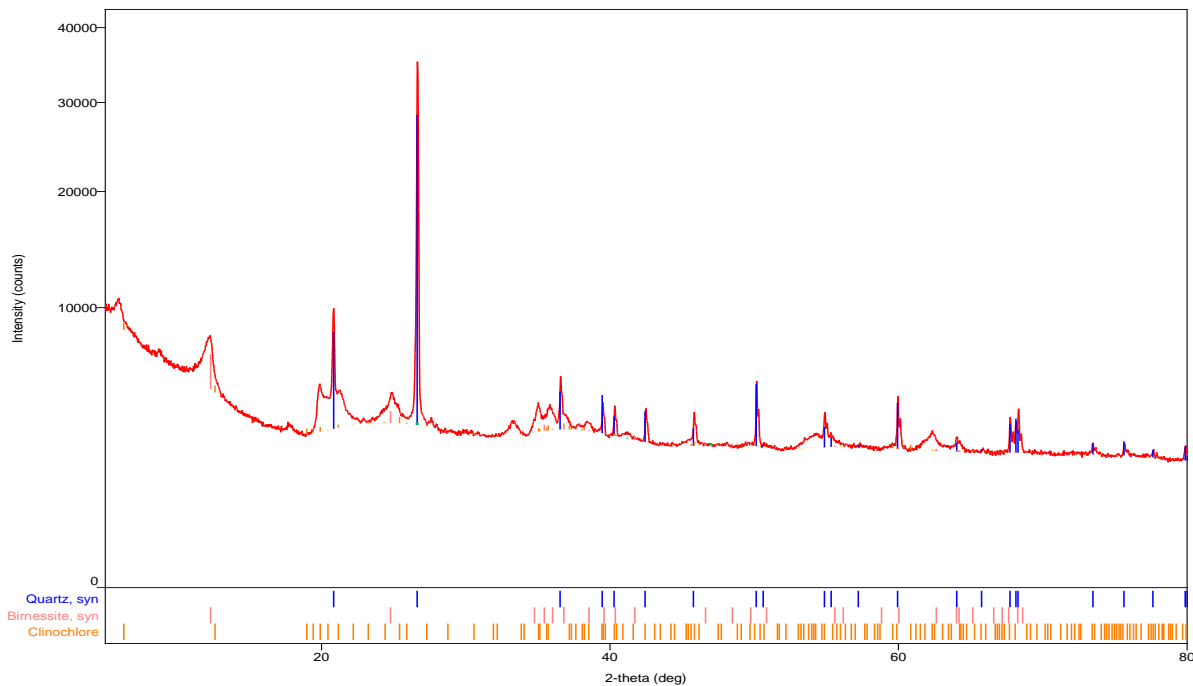


Рис 29. Рентгенофазовая диаграмма для образца Б1.

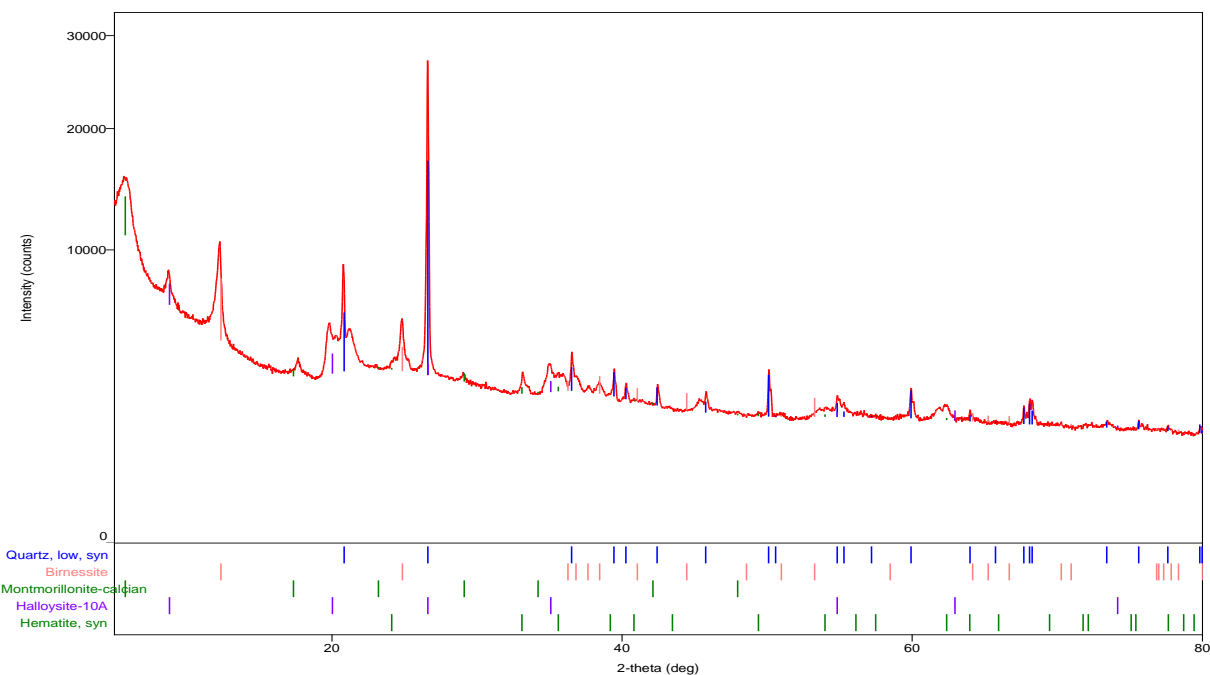


Рис 30. Рентгенофазовая диаграмма для образца Б3

Таким образом, основную массу породы составляют сильно-ожезненные смешанослойные образования, включающие в себя хлорит, шамозит, дикит. Гетит присутствует в виде отдельных мономинеральных вкраплений, которые удалось зафиксировать. Основная же доля железа в основной массе является рентгеноаморфной фазой, что выражается в повышенном уровне фона диаграммы.

Вкрапленники состоят из кварца, полевые шпаты заменены глинистыми минералами, в данном случае, монтмориллонитом.

Подтверждено наличие марганцевого оруденения (5-8%). Большую его часть составляет бирнессит, реже встречается галлуазит. Оба в виде мелких (около 1 мм) рыхлых вкраплений в породе.

Глава 4

Минералогия руд Воронцовского месторождения

4.1. Подземные горные работы

Полевые шпаты

Полевые шпаты представлены ортоклазом, изредка анортитом. Слагают цементирующую массу карбонатных брекчий. Есть как ксеноморфные, так и гипидиоморфные агрегаты. Примесь бария является характерной для минералов этого месторождения.

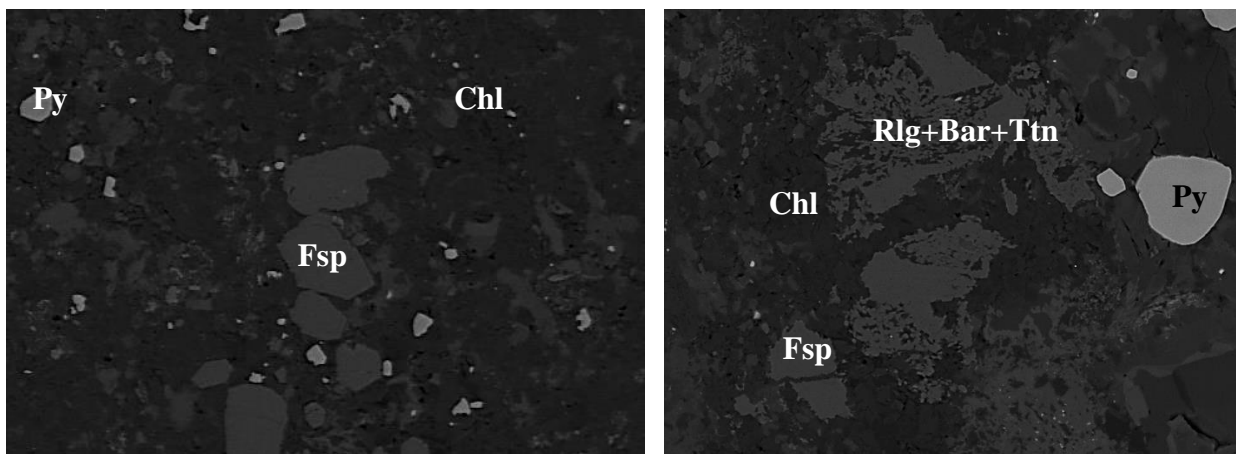


Рис 31. Полевые шпаты в хлоритовой массе. Изображение в отраженных электронах Fsp – полевые шпаты, Chl – хлорит, Py - пирит, Rlg - реальгар, Bar - барит, Ttn - титанит.

Химический состав полевых шпатов

Компонент	Номер анализа					
	1 (554)	2 (526)	3 (545)	4 (944)	5 (566)	6 (374)
Масс. %						
SiO ₂	55,25	54,89	57,96	55,53	60,51	49
Al ₂ O ₃	19,49	19,12	19,78	19,63	19,6	24,42
CaO			0,58	1,62	0,37	8,98
Na ₂ O	0,26	0,5	0,43	0,67	0,63	0,49
K ₂ O	11,66	11,63	11,94	10,82	12,96	0,92
BaO	10,09	7,93	7,61	5,85	6,21	9,77
Сумма	96,77	94,06	98,31	94,12	100,28	93,59
Формульные единицы						
Si	2,82	2,84	2,85	2,82	2,89	2,52
Al ^{IV}	1,17	1,17	1,15	1,18	1,10	1,48
Сумма	4,00	4,01	4,00	4,00	4,00	4,00
Na	0,03	0,05	0,04	0,07	0,06	0,05
K	0,76	0,77	0,75	0,70	0,79	0,06
Ca	0,00	0,00	0,03	0,09	0,02	0,49
Ba	0,20	0,16	0,15	0,12	0,12	0,20
Сумма	0,99	0,98	0,97	0,97	0,98	0,80

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 16 зарядов.

гр. Граната – Гроссуляр-Андрадит

Гранаты слагают один из типов вмещающих пород – гранатовые скарны. По составу они относятся к ряду гроссуляр-андрадит. Породы почти на 70% слагаются гранатами.

Зерна гранатов хорошо раскристаллизованы, изменены, частично замещены хлоритом. В некоторых участках породы по краям зерен гранатов проявлен тонко вкрапленный молибденит. Гранаты диагностированы в оптическом микроскопе и электронно-зондовым микроанализом.

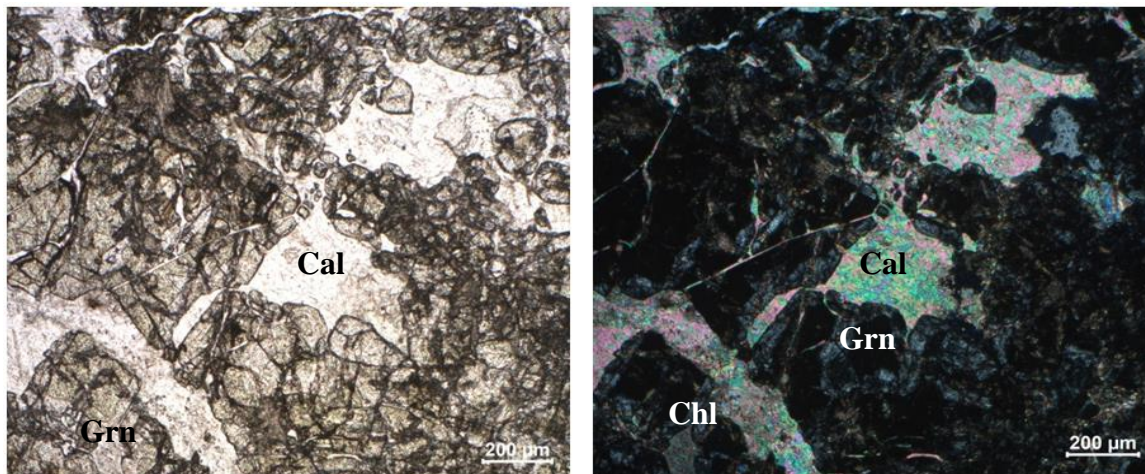


Рис 32. Шлиф А4. Гранатовая основная масса, пр. и пол. свет, 5х
Grn –гранат, Chl – хлорит, Cal – кальцит.

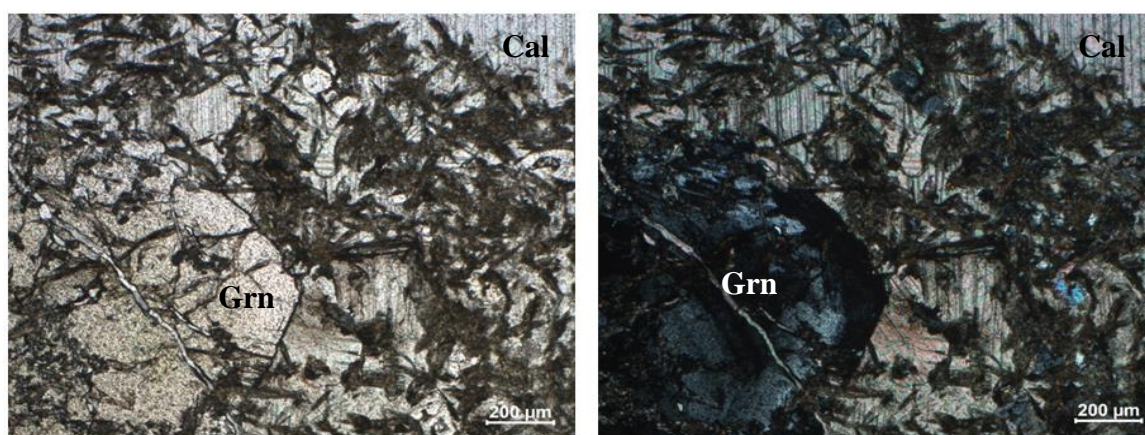


Рис 33. Шлиф А4. Зональное зерно граната.
Крестовидные следы изменений, пр. и пол. свет, 5х
Grn –гранат, Cal – кальцит

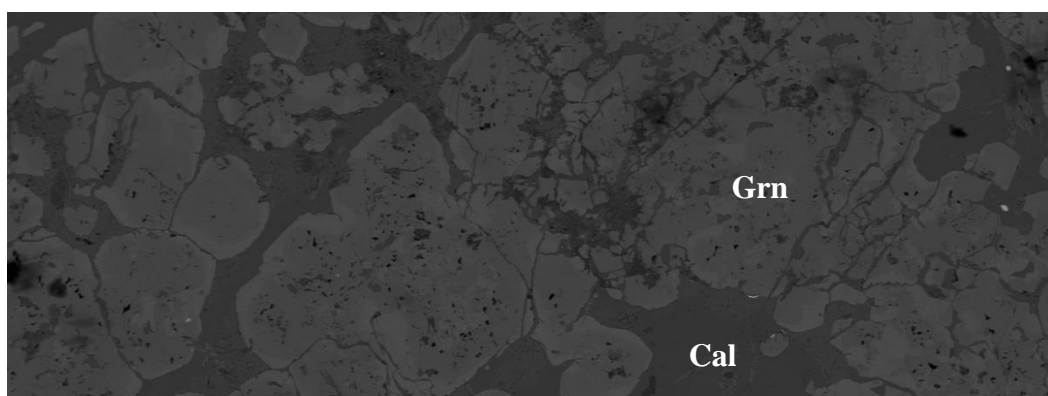


Рис 34. Гранатовая основная масса в породе. Изображение в отраженных электронах
Grn –гранат, Cal – кальцит

Химический состав гранатов

Компонент	Номер анализа			
	1 (603)	2 (620)	3 (627)	4 (643)
Масс %.				
SiO ₂	39,21	37,7	37,58	39,22
Al ₂ O ₃	16,43	15,36	16,05	16,83
CaO	35,51	34,29	35,29	36,42
Fe ₂ O ₃	8,14	8,83	8,36	7,41
TiO ₂				0,6
MnO	1,89	1,52	1,21	1,38
Сумма	101,17	97,69	98,5	101,86
Формульные единицы				
Si	3,01	3,01	2,97	2,99
Al ³⁺	1,48	1,44	1,49	1,51
Ca	2,92	2,93	2,99	2,97
Fe ³⁺	0,47	0,53	0,50	0,42
Ti	0,00	0,00	0,00	0,03
Mn	0,12	0,10	0,08	0,09
Сумма	8,01	8,01	8,03	8,01

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 12 атомов кислорода

гр. Хлорита – Шамозит и Клинохлор

Хлорит является породообразующим минералом для вмещающих пород Воронцовского месторождения. В пропилитах он составляет до 70% от массы породы. Вмещает в себя почти все остальные минералы. Представлен смешанослойной массой, сложно поддающейся определению. Некоторые спектры можно отнести к шамозиту, некоторые ближе к клинохлору. Диагностирован оптическим, рентгенофазовым и электронным рентгеноспектральным анализом.

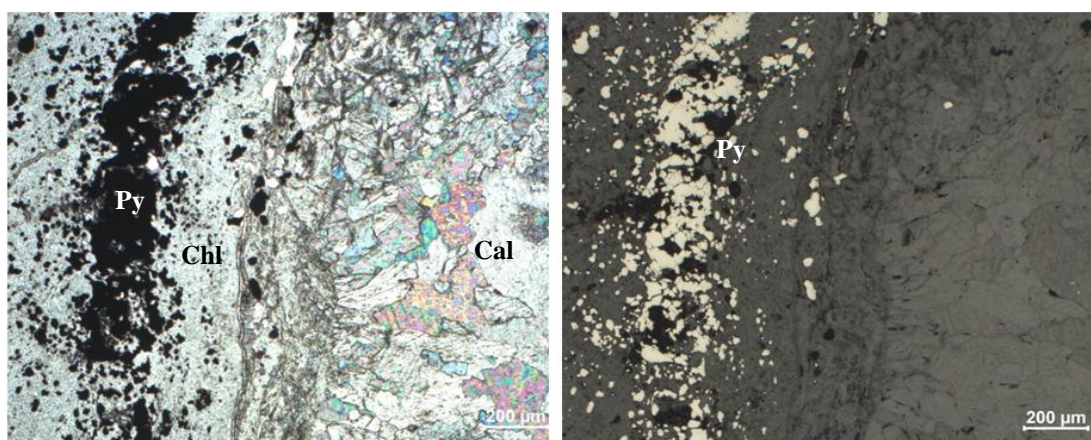


Рис 35. Хлоритовая основная масса. Шлиф А3, пол.свет (слева) и отр. свет (справа), 5х.
Chl – хлорит, Cal - кальцит , Py – пирит.

Химический состав хлорита

Компонент	Номер анализа			
	1 (390)	2 (406)	3 (291)	4 (396)
Масс %.				
SiO ₂	26,6	32,08	30,93	30,27
Al ₂ O ₃	14,46	16,36	20,95	17,43
MgO	20,15	24,69	24,54	25,91
Fe ₂ O ₃	12,48	13,48		4,47
Сумма	73,69	86,61	76,42	78,08
Формульные единицы				
Si	4,01	4,09	4,10	4,07
Al ³⁺	2,57	2,45	3,27	2,76
Mg	4,56	4,72	4,88	5,23
Fe ³⁺	1,57	1,43	0,00	0,50
Сумма	12,71	12,69	12,26	12,55

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 18 атомов кислорода

Гр. Эпидота - Алланит

Эпидоты Воронцовского месторождения содержат большое количество редкоземельных элементов, особенно лантана и церия. Их зерна изменены, раздроблены. По систематике могут быть отнесены к алланиту.

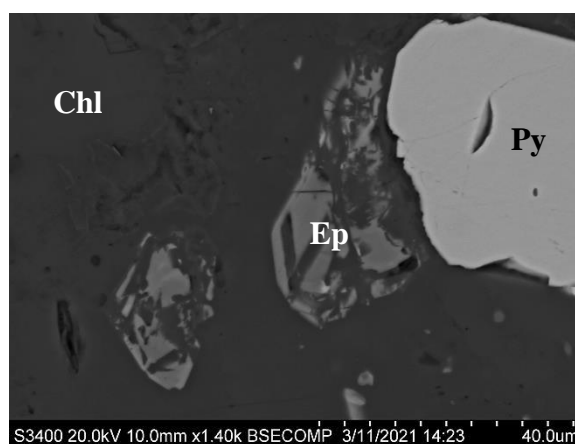


Рис 36. Эпидоты в хлоритовой массе. Изображение в отраженных электронах
Ep – эпидот, Chl – хлорит, Py - пирит

Химический состав эпидотов

Компонент	Номер анализа				
	1 (350)	2 (358)	3 (359)	4 (360)	5 (393)
Масс %.					
SiO ₂	33,72	33,6	34,52	33,5	32,42
Al ₂ O ₃	22,28	22,33	23,34	21,4	19,54
FeO	3,94	3,86	3,63	4,07	3,12
MnO	2,1	1,94	2,33	2,16	3,61
MgO	1,6	1,58	1,36	1,54	2,78
CaO	16,6	16,84	16,78	16,38	12,18
La ₂ O ₃	5,51	5,87	5,75	6,66	7,64
CeO ₂	5,55	5,88	5,81	5,9	8,2
Nd ₂ O ₃	2,13	1,89	1,91	1,85	3,85
Pr ₂ O ₃	0,43				1,11
Сумма	93,86	93,79	95,43	93,46	94,47
Формульные единицы					
Ca	1,58	1,60	1,56	1,58	1,22
La	0,18	0,19	0,18	0,22	0,26
Ce	0,18	0,19	0,18	0,19	0,28
Nd	0,07	0,06	0,06	0,06	0,13
Pr	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04
Сумма	2,02	2,04	1,99	2,05	1,92
Si	2,99	2,98	3,00	3,01	3,02
Al ³⁺	2,33	2,33	2,39	2,27	2,14
Fe ²⁺	0,29	0,29	0,26	0,31	0,24
Mn	0,16	0,15	0,17	0,16	0,28
Сумма	5,77	5,75	5,82	5,75	5,68

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 8 катионов.

Барит

Барит встречается как в виде вкрапленных идиоморфных зерен, так и в виде поздней ксеноморфной массы, заполняющей трещины. Это указывает на несколько модификаций данного минерала – более раннюю, раскристаллизованную (Bar-1), и более позднюю (Bar-2), которой места для роста уже не осталось. По составу барит в Воронцовском месторождении достаточно чистый, доля стронция совсем мала.

Диагностирован в оптическом микроскопе и электронно-зондовым микроанализом.

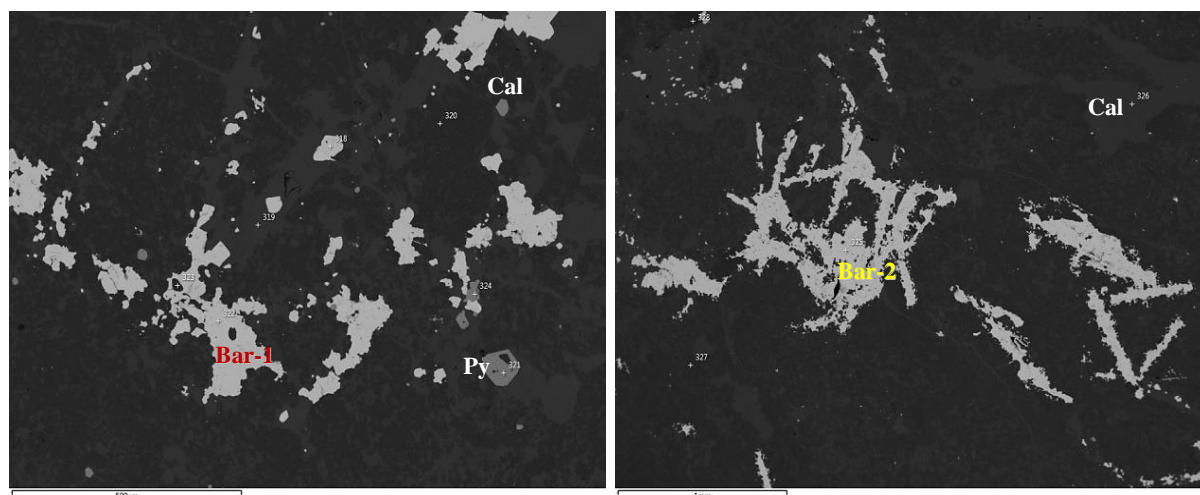


Рис. 37..Две морфологические модификации барита.
Изображение в обратных электронах.
Cal – кальцит, Bar-1 – ранний барит, Bar-2 – поздний барит.

Таблица 5

Химический состав барита

Компонент	Номер анализа						
	1 (277)	2 (278)	3 (318)	4 (322)	5 (325)	6 (339)	7 (501)
Масс. %							
BaO	57,42	59,3	59,44	59,08	59,17	58,01	55,43
SrO	1,94	1,92	0,73	0,35	0,63	1,37	2,76
SO ₃	33,03	34,29	33,57	32,62	32,61	33,71	33,71
Сумма	92,38	95,51	93,73	92,05	92,42	93,09	91,91
Формульные единицы							
Ba	0,95	0,95	0,98	0,99	0,98	0,90	0,88
Sr	0,05	0,05	0,02	0,01	0,02	0,03	0,07
Сумма	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,95
S	1,05	1,06	1,06	1,05	1,04	1,00	1,03

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона.

Кварц

Кварц в рудах месторождения составляет небольшую долю от общего состава, около 5%. Его кристаллы оформленные, располагаются в хлоритовой или карбонатной массе. Присутствует как в подземных, так и в окисленных рудах месторождения. Хорошо диагностируется всеми методами. По составу чистый, без примесей.

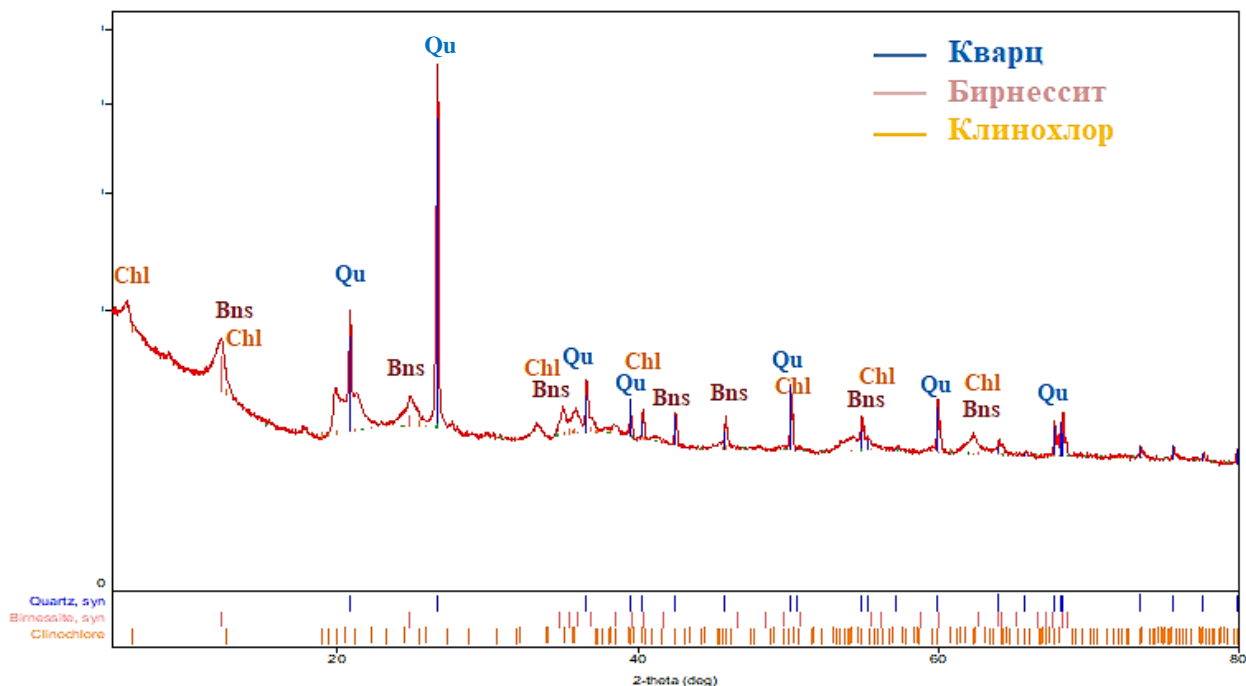


Рис 38. Рентгенофазовая диаграмма для образца Б1.

No.	d, Å	(h, k, l)	Отн.интенсивность, %
7	4.2635(4)	1,0,0	13.70
10	3.3407(2)	1,0,1	100.00
15	2.45408(19)	1,1,0	5.82
18	2.2786(3)	0,1,2	4.02
19	2.23377(17)	1,1,1	3.57
21	2.12548(15)	2,0,0	4.81
23	1.97765(14)	0,2,1	3.62
24	1.81645(9)	1,1,2	9.62
26	1.67084(14)	2,0,2	3.41
27	1.6579(9)	1,0,3	3.59
28	1.54125(8)	2,1,1	8.51
30	1.45205(7)	1,1,3	1.11
32	1.38187(5)	2,1,2	5.34
33	1.37468(5)	0,2,3	4.76
34	1.37174(4)	3,0,1	3.86
35	1.28766(17)	0,1,4	2.12
36	1.25563(18)	0,3,2	1.93
37	1.22787(6)	2,2,0	1.35
38	1.19919(9)	1,2,3	2.96

Карбонаты

Карбонаты представлены по большей части кальцитом. Изредка встречается доломит. Этот минерал выполняет породообразующую и цементирующую роль в большинстве руд месторождения. Слагает мрамора, содержащие в себе сульфиды и свободное золото. В мраморах крупные кристаллы, слагает до 80% породы. Во вмещающих породах его доля значительно меньше - в основном, цементирует гранатовую массу.

Диагностирован в оптическом микроскопе и электронно-зондовым методом.

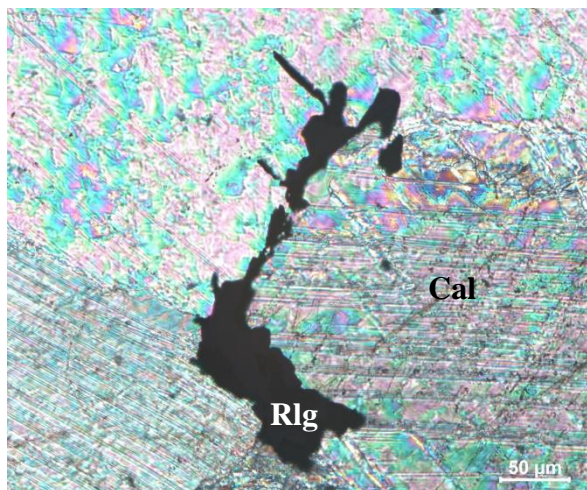


Рис 39. Реальгар в мраморе.

Шлиф А1(1). 20х

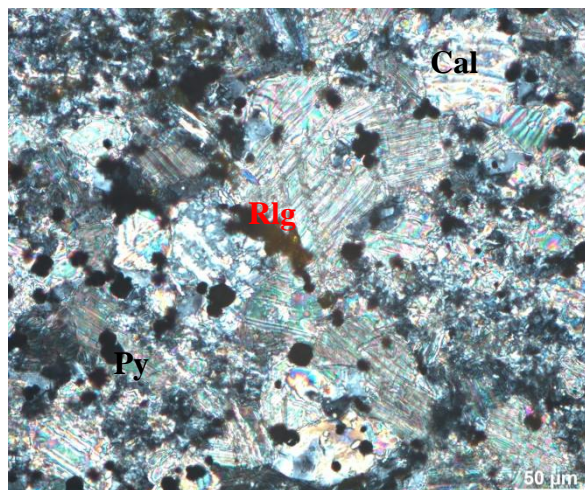


Рис 40. Пирит и реальгар в мраморе.

Шлиф А2(1). 20х

Rlg – реальгар, Cal – кальцит, Py - пирит

Таблица 6

Химический состав карбонатов

Компонент	Номер анализа						
	1 (327)	2 (276)	3 (284)	4 (286)	5 (293)	6 (311)	7 (304)
Масс. %							
MnO	2,7						
MgO	13,96	0,45				0,39	
CaO	32,58	53,44	53,86	53,5	54,16	54,57	53,64
Сумма							
Формульные единицы							
Mn	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,36	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Ca	0,60	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00
Сумма	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона.

Пирит

Пирит встречается в породе по большей части в виде вкрапленности.

Его доля мала во вмещающих породах и существенно возрастает в рудах, особенно богатых сульфидами мраморах. В этих породах он крупнозернистый, до 500 мкм. Вмещает в себе вкрапленность золота. Зерна пирита идиоморфные, имеют форму куба и пентагон додекаэдра. Мышьяк является частой примесью в составе пирита.

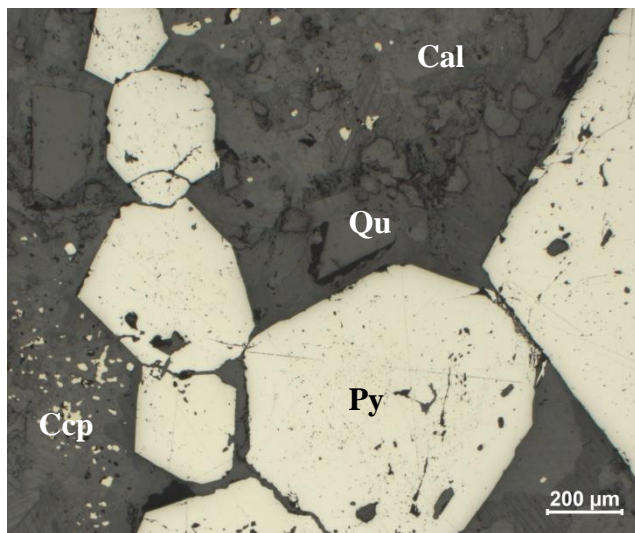


Рис. 41. Шлиф А4,
Зерна пирита в карбонатной массе, 5х
Cal – кальцит, Py – пирит, Ccp – халькопирит

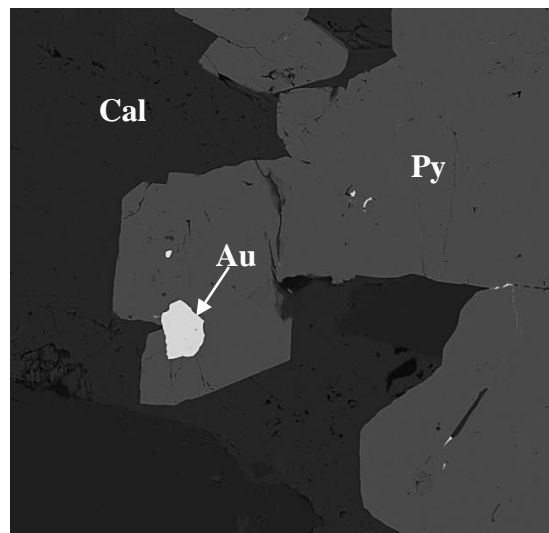


Рис. 42. Золото в пирите.
Изображение в обратных электронах.
Cal – кальцит, Py – пирит, Au – золото.

Таблица 7

Химический состав пирита

Компонент	Номер анализа						
	1 (296)	2 (337)	3 (439)	4 (286)	5 (475)	6 (489)	7 (505)
Масс. %							
Fe ²⁺	46,54	46,43	47,78	44,9	45,15	46,43	45,57
S	53,93	53,17	53,81	50,79	50,66	52,28	51,48
Сумма	100,75	100,04	102,47	95,68	95,81	98,71	97,05
Формульные единицы							
Fe ²⁺	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
S	2,02	1,99	1,96	1,97	1,95	1,96	1,97

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона.

Арсенопирит

Арсенопирит встречается только в рудах месторождения, слагает характерные ромбовидные кристаллы. Ассоциирует с пиритом и сфалеритом в мраморах. Размеры кристаллов до 300 мкм.

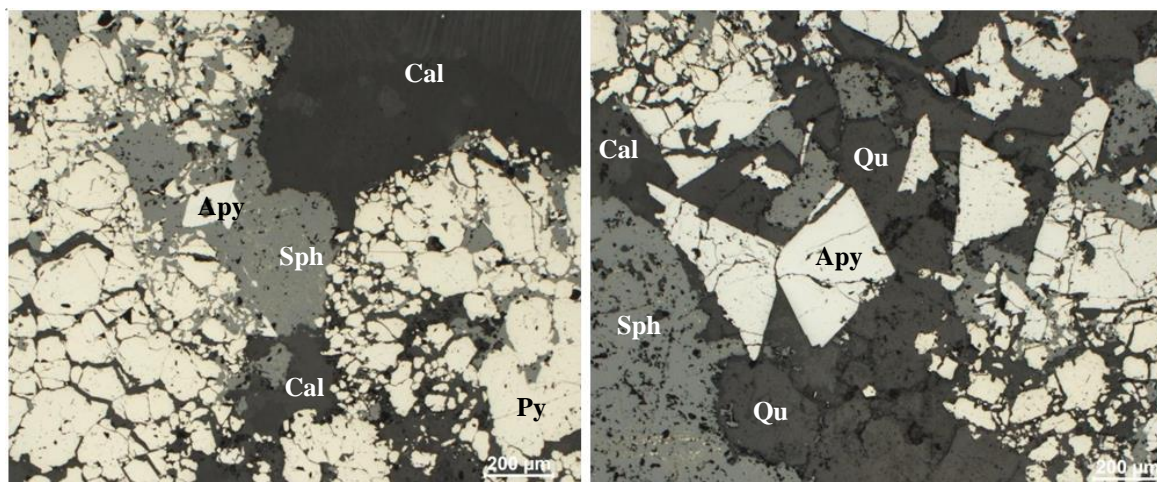


Рис. 43 . Арсенопирит с пиритом и сфалеритом в мраморе. Шлиф А8-А9, отраженный свет, 5х. Cal – кальцит, Qu – кварц, Py – пирит, Аpy – арсенопирит, Sph – сфалерит

Таблица 8

Химический состав арсенопирита

Компонент	Номер анализа				
	1 (728)	2 (735)	3 (738)	4 (747)	5 (768)
Масс %.					
Fe ²⁺	36,17	34,98	34,23	34,32	35,33
As	44,97	44,91	41,15	42	43,19
S	21,16	20,83	20,43	20,24	21,04
Сумма	102,3	100,72	95,81	96,55	99,57
Формульные единицы					
Fe ²⁺	1,04	1,02	1,05	1,05	1,05
As	0,96	0,98	0,95	0,95	0,95
Сумма	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
S	1,06	1,06	1,10	1,07	1,09

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 2 катионов.

Халькопирит

Халькопирит в породе проявлен в виде мелкой вкрапленности в ассоциации с другими сульфидами – пиритом, арсенопиритом и сфалеритом. Особенно интересны его

«нитевидные» вкрапленные горизонты в больших кристаллах сфалерита. По составу достаточно однороден.

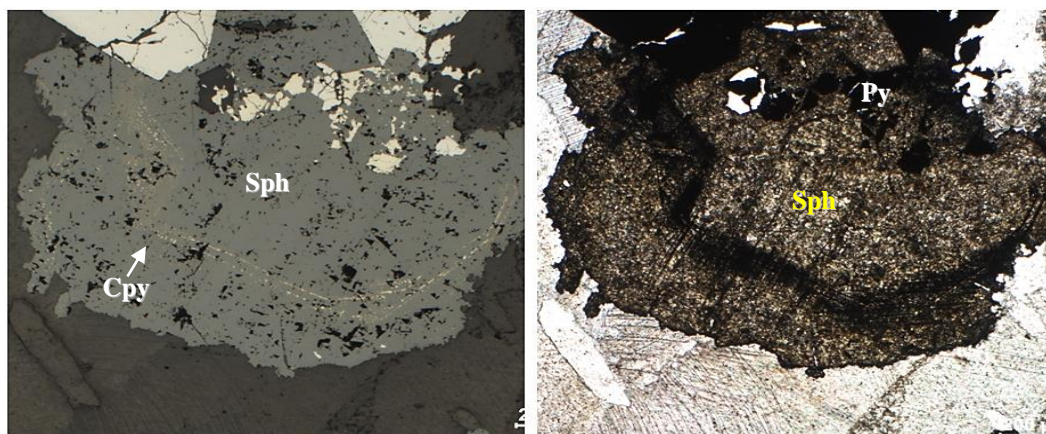


Рис 44. «Нити» халькопирита в сфалерите. Шлиф А9, отраженный свет (слева) и проходящий свет (справа), 5х.

Таблица 9

Химический состав халькопирита

Компонент	Номер анализа	
	1 (413)	2 (417)
Масс %.		
Cu ²⁺	32,24	33,62
Fe ²⁺	30,08	31,17
S	33,41	34,63
Сумма	95,74	99,41
Формульные единицы		
Cu ²⁺	0,97	0,97
Fe ²⁺	1,03	1,03
Сумма	2,00	2,00
S	1,99	1,99

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 2 катионов

Галенит

Галенит составляет небольшую долю (около 3-5%) относительно всех сульфидов, слагающих руды месторождения. Часто бывает приурочен к границам зерен пирита с основной кальцитовой массой. По составу однороден. Диагностирован с помощью рудной микроскопии и электронно-зондового исследования.

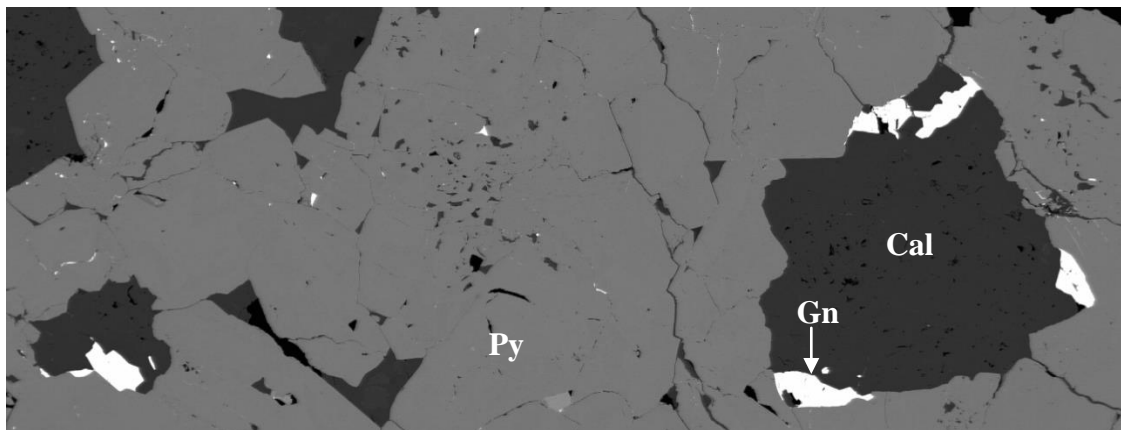


Рис.45. Галенит на границе зерен пирита и кальцитовой основной массы.
Изображение в обратных электронах.
Gn - галенит, Cal - кальцит, Py - пирит.

Таблица 10

Химический состав галенита

Компонент	Номер анализа	
	1 (410)	2 (456)
Масс %.		
Pb	82,35	67,08
S	12,6	22,6
Сумма	94,95	89,68
Формульные единицы		
Pb	1,00	1,00
S	0,99	0,99

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона

Сфалерит

Сфалерит довольно широко распространен в породе. Занимает около трети массы от всех сульфидов. Есть оформленные кристаллы более 300 мкм в поперечнике, но чаще всего он является цементирующим веществом для других сульфидов парагенезиса – пирита, арсенопирита, халькопирита.

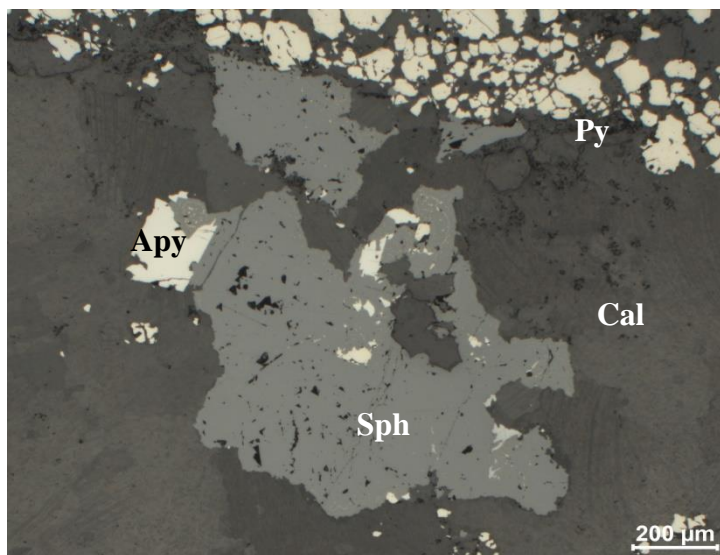


Рис.46. Сфалерит с пиритом и арсенопиритом в мраморе, отр.свет, 5х
Sph - сфалерит, Аpy - арсенопирит, Py - пирит, Cal - кальцит.

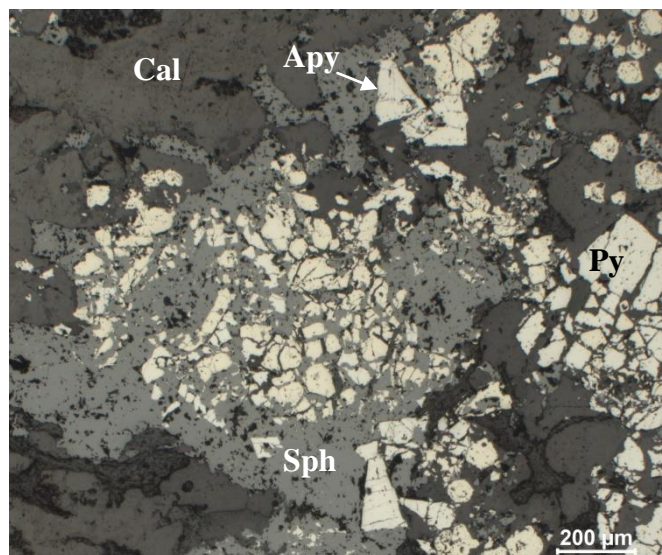


Рис.47. Цементирующий сфалерит с сульфидами в мраморе, отр.свет, 5х
Sph - сфалерит, Аpy - арсенопирит, Py - пирит, Cal - кальцит.

Таблица 11

Химический состав сфалерита

Компонент	Номер анализа	
	1 (338)	2 (490)
Масс %.		
Fe ²⁺	0,77	0,51
Zn	64,15	63,35
S	31,83	31,8
Сумма	96,75	95,66
Формульные единицы		
Fe ²⁺	0,99	0,99
Zn	0,01	0,01
S	1,00	1,01

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона **Гуэтардит (?)**

Гуэтардит с теоретической формулой PbAsSbS₄ является минералом группы Сарторита. В породе встречается примерно в той же роли, что и стибнит, т.е. в виде мелкой вкрапленности по границам зерен. Тяготеет к крупным проявлениям реальгара. Диагностирован электронно-зондовым микроанализом. Гуэтардит из Воронцовского месторождения характеризуется повышенным содержанием сурьмы, что влияет на его расчетную формулу (Pb_{0,88}Sb_{0,12})_{1,00}(Sb_{0,52}As_{0,48})_{1,00}Sb_{1,00}S_{3,93}

Справедливо ли относить данный минерал к гуэтардиту ещё следует уточнить.

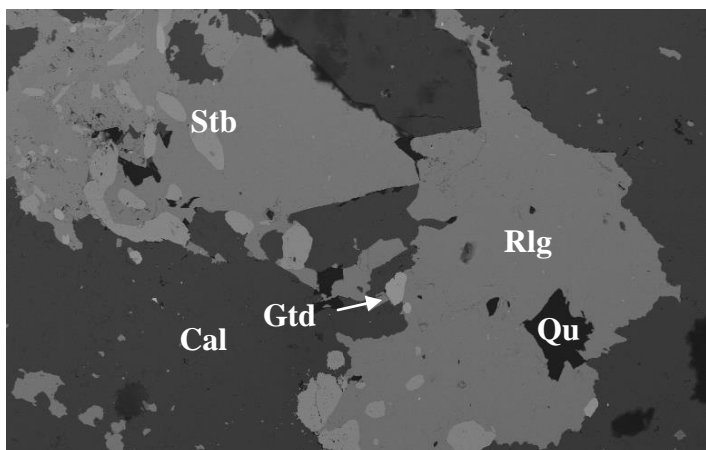


Рис.48. Гуэттардит со стибнитом в реальгаре.
Изображение в обратных электронах.
Gtd - гуэттардит, Rlg - реальгар,
Stb - стибнит, Cal – кальцит, Qu - кварц.

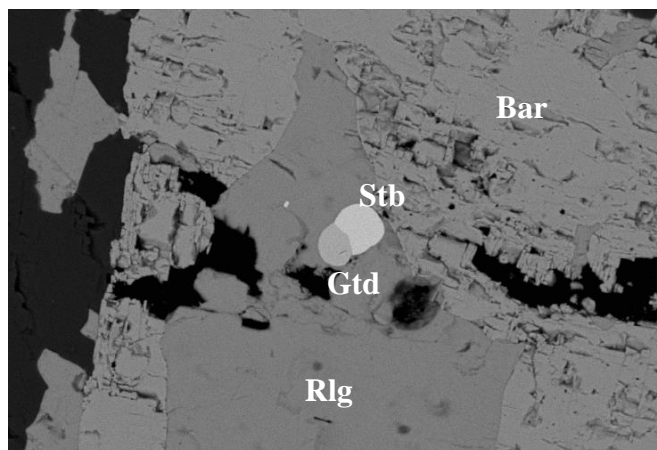


Рис.49. Гуэттардит со стибнитом
в реальгаре и барите.
Изображение в обратных электронах.
Gtd - гуэттардит, Rlg - реальгар,
Stb - стибнит, Bar - барит.

Таблица 12

Химический состав гуэттардита

Компонент	Номер анализа
	1 (307)
Масс %.	
As	6,45
Sb	35,96
Pb	32,75
S	22,64
Сумма	97,79
Формульные единицы	
As	0,48
Sb	1,64
Pb	0,88
S	3,93
Сумма	6,93

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона

Стибнит

Стибнит в породе распространен в виде мелкой вкрапленности, приуроченной к границам зерен. Наиболее часто встречается в кальцитовой массе с реальгаром.

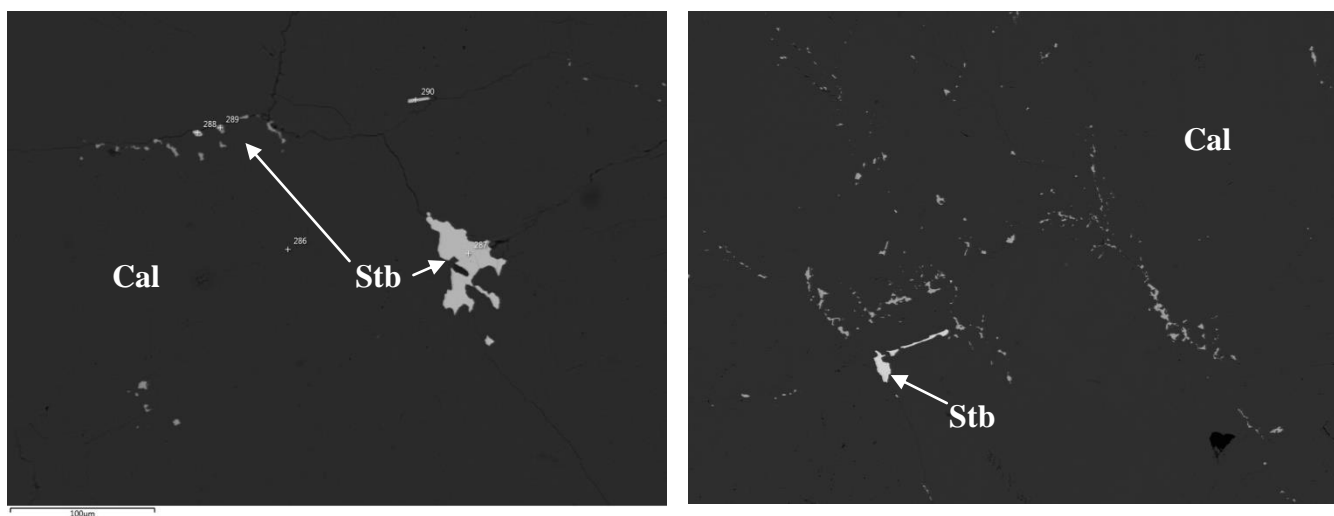


Рис.50. Стибнит тонко вкрапленный по границам зерен в мраморе .
Изображение в обратных электронах.
Stb - стибнит, Cal - кальцит.

Таблица 13

Химический состав стибнита

Компонент	Номер анализа						
	1 (296)	2 (337)	3 (439)	4 (286)	5 (475)	6 (489)	7 (505)
Масс. %							
As	1,13	1,03	0,88	1,07	1,38	1,83	1,34
Sb	70,77	71,37	72,03	70,96	68,69	69,09	68,41
S	27,35	27,39	28,28	27,55	26,77	27,24	26,58
Сумма	99,25	99,79	101,19	99,59	96,84	98,17	96,33
Формульные единицы							
As	0,05	0,05	0,04	0,05	0,07	0,09	0,06
Sb	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
S	2,93	2,91	2,98	2,95	2,96	2,99	2,95
Сумма	4,99	4,96	5,02	5,00	5,02	5,08	5,01

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 2 катионов.

Колорадоит

Колорадоит – это теллурид ртути с идеальной формулой $HgTe$.

Диагностирован электронно-зондовым исследованием в кальците в виде вкрапленника в несколько микрон.

Химический состав колорадоита

Компонент	Номер анализа
	1 (721)
Масс %.	
Hg	34,79
Te	65,25
Сумма	100,0
Формульные единицы	
Hg	1,00
Te	0,84
Сумма	1,84

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона

Молибденит

Молибденит в породе встречается только в виде микроскопической вкрапленности в гранатовой массе во вмещающих породах. Диагностирован электронно-зондовым микроанализом.

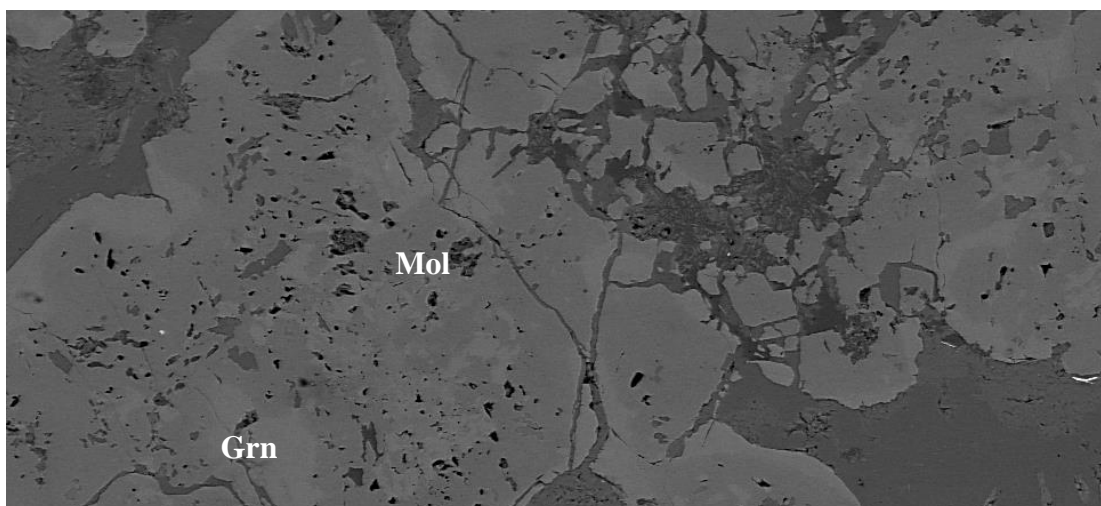


Рис.51. Мелкая вкрапленность молибденита в гранате.
Изображение в отраженных электронах.
Grn - гранат, Mol - молибденит.

Химический состав молибденита

Компонент	Номер анализа			
	1 (605)	2 (606)	3(617)	4(623)
Масс %.				
Mo	40,71	43,36	39,78	39,31
S	59,29	56,64	60,22	60,69
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00
Формульные единицы				
Mo	1,00	1,00	1,00	1,00
S	2,05	2,09	1,98	1,94

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона

Люборжакит (?)

Люборжакит с химической формулой Mn_2AsSbS_5 является минералом группы Павонита. Характерен исключительно для Воронцовского месторождения, зарегистрирован ИМА в 2021 году. В породе диагностирован в виде мелкой вкрапленности в кальците, наряду со стибнитом. Для диагностики использовался электронный энергодисперсионный рентгеноспектральный микроанализ.

Расчеты показывают, что количество сурьмы превышает допустимые конкретно в этом минерале, что влияет на расчетную формулу $(Mn_{1,34}Sb_{0,66})_{2,00}(Sb_{0,74}As_{0,23})_{0,97}Sb_{1,00}S_{5,00}$.

То есть сурьма здесь занимает позицию мышьяка. Целесообразно ли относить данный минерал непосредственно к люборжакиту – ещё предстоит выяснить.

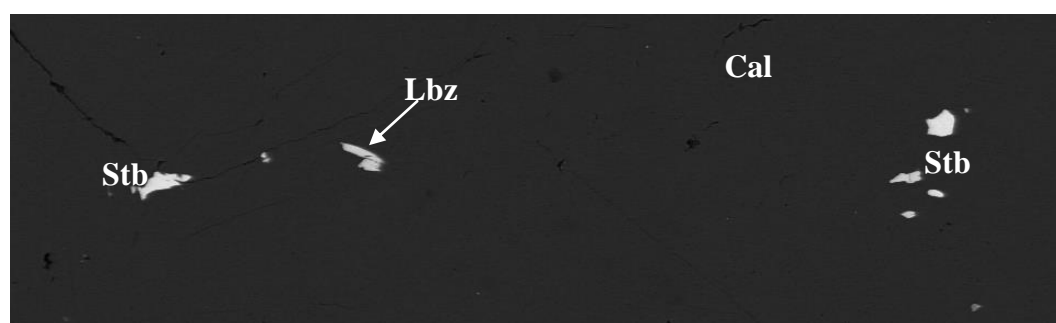


Рис 52. Мелкая вкрапленность люборжакита в кальците.

Изображение в отраженных электронах.

Stb - стибнит, Lbz - люборжакит, Cal - кальцит.

Химический состав люборжакита

Компонент	Номер анализа	
	1 (705)	2 (712)
Масс %.		
Mn	12,47	12,73
As	2,93	3,06
Sb	50,3	52
S	26,9	28,1
Сумма	92,6	95,89
Формульные единицы		
Mn	1,35	1,32
As	0,23	0,23
Sb	2,45	2,44
S	4,97	5,00

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 9 зарядов

Густавит

Густавит – минерал группы Лиллианита. Единственный из диагностированных минералов в рудах Воронцовского месторождения, содержащий в составе серебро. Встречается в виде мелкой вкрапленности в пирите, в ассоциации с другими сульфидами – арсенопиритом, галенитом, сфалеритом.

Диагностирован электронно-зондовым микроанализом.

Расчетная формула $Ag_{0,98}(Pb_{1,44}Zn_{1,03}Fe_{0,10})_{2,57}(Bi_{2,08}Sb_{0,29})_{2,37}S_{5,08}$

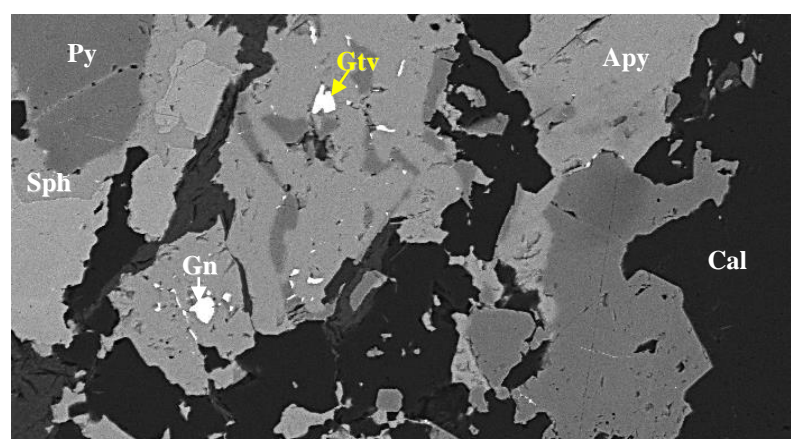


Рис 53. Густавит и галенит в арсенопирите. Изображение в обратных электронах.
Stb - стибнит, Py - пирит, Ару - арсенопирит,
Gn - галенит, Sph - сфалерит, Cal - кальцит.

Химический состав густавита

Компонент	Номер анализа		
	1 (807)	2 (765)	3 (789)
Масс %.			
Ag	6,58	9,89	6,85
Fe	2,07	0,51	0,69
Zn	10,93	6,26	5,38
Pb	28,99	27,79	25,78
Sb	2,6	3,28	2,07
Bi	25,87	40,5	33,75
S	15,57	15,2	12,64
Сумма	92,61	104,73	87,17
Формульные единицы			
Ag	0,65	0,98	0,82
Fe	0,39	0,10	0,16
Zn	1,78	1,03	1,06
Pb	1,49	1,44	1,60
Sb	0,23	0,29	0,22
Bi	1,31	2,08	2,08
S	5,16	5,08	5,07
Сумма	11,00	11,00	11,00

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 11 зарядов

Реальгар

Реальгар – широко распространенный минерал в рудах Воронцовского месторождения. Встречается в основном в виде жил и вкраплений в мраморах, слагающих обломки карбонатных брекчий. Вмещается в себе сульфиды, содержащие золото.

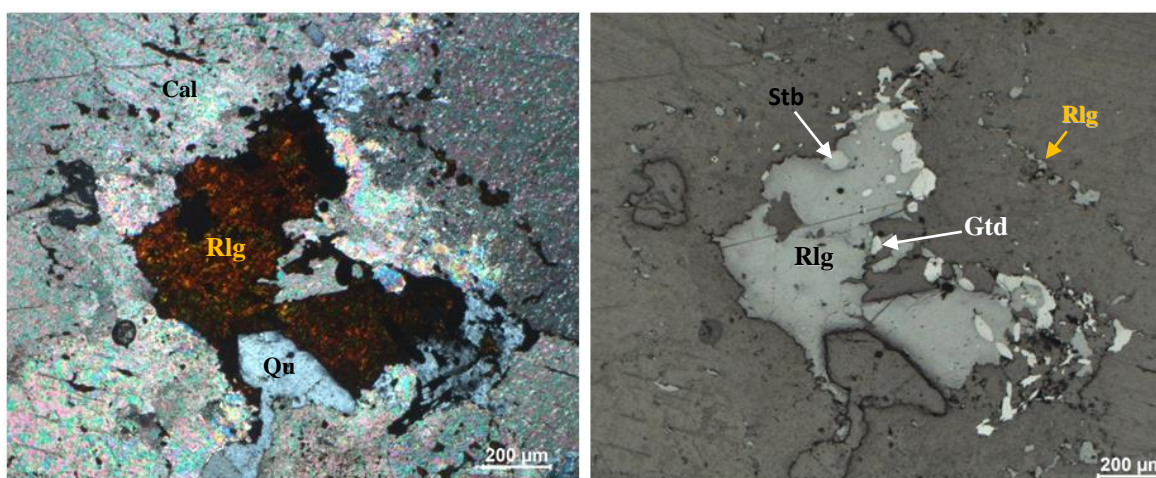


Рис 54. Мраморы с реальгаром. Шлиф А2(1), пол.свет (слева) и отр.свет (справа), 5х.
Rlg - реальгар, Qu - кварц, Gtd – гуэтардит, Stb - стибнит, Cal - кальцит.

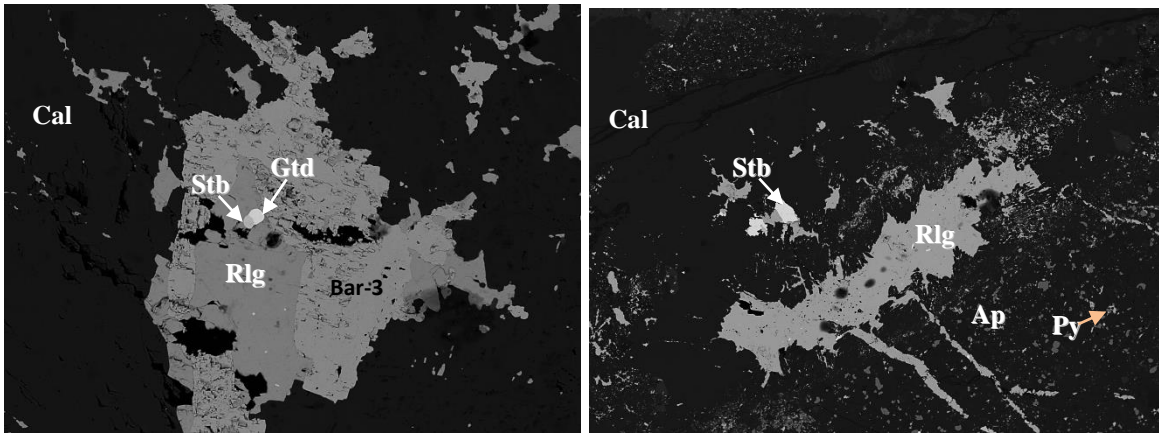


Рис. Мраморы с реальгаром. Третья модификация барита и жильный реальгар.
Изображения в обратных электронах.

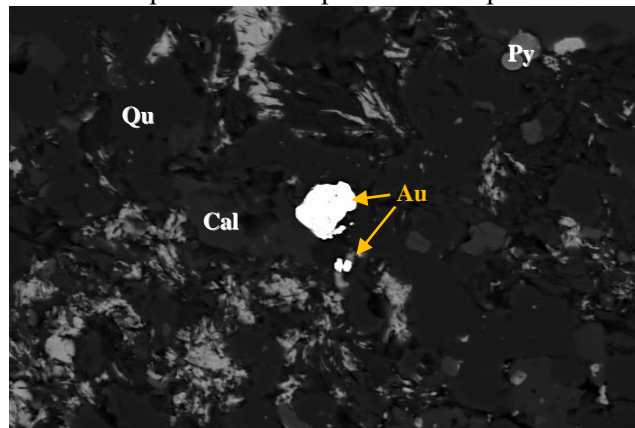


Рис 18. Золото в кварц-реальгар-кальцитовой массе.
Изображение в обратных электронах.

Таблица 18

Химический состав реальгара

Компонент	Номер анализа				
	1 (281)	2 (283)	3 (298)	4 (306)	5 (315)
Масс %.					
As	71,19	69,74	62,31	71,3	70,44
S	30,7	30,71	27,31	31,12	30,81
Сумма	102,36	101,05	91,23	102,42	101,85
Формульные единицы					
As	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
S	4,03	4,12	4,10	4,08	4,09

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 4 катионов

Апатит

Апатит является типичным акцессорным минералом в рудах месторождения. Его зерна мелкие, достаточно окатанные, около 30 мкм. Встречается во всех породах месторождения, включая вмещающие. На Воронцовском месторождении ему присуща высокая содержание фтора. Диагностирован электронно-зондовым исследованием.

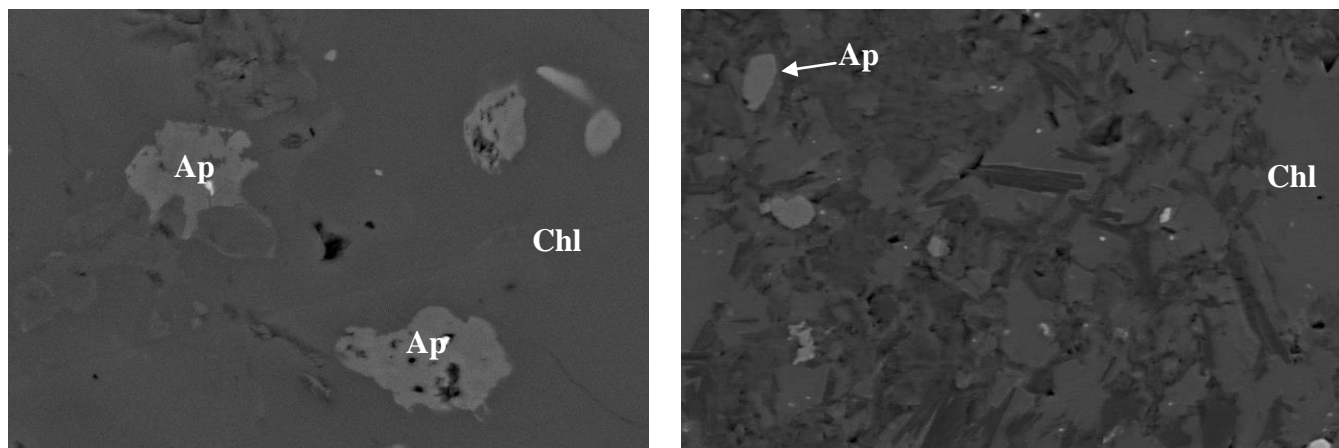


Рис 55. Апатиты в хлоритовой основной массе.
Изображение в обратных электронах.
Ap - апатит, Chl - хлорит.

Таблица 19

Химический состав апатитов

Компонент	Номер анализа						
	1 (301)	2 (310)	3 (336)	4 (348)	5 (403)	6 (478)	7 (504)
Масс. %							
CaO	54,72	56,16	52,71	53,63	50,33	52,22	53,54
As ₂ O ₅			4,11	2,42			
P ₂ O ₅	42,4	43,19	39,44	40,59	39,06	40,02	42,01
Сумма	97,12	99,35	96,26	96,64	89,39	92,24	95,55
F	4,12	4,72	4,61	3,64	3,38	2,48	2,91
Cl	0,26			0,19	0,85	0,54	0,79
Формульные единицы							
Ca	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
P	3,06	3,03	2,95	2,98	3,06	3,02	3,09
As ⁵⁺	0,00	0,00	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00
Сумма	3,06	3,03	3,05	3,04	3,06	3,02	3,09
F	1,11	1,24	1,29	1,00	0,99	0,70	0,80
Cl	0,04	0,00	0,00	0,03	0,13	0,08	0,12

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 5 катионов

Монацит

Монацит в рудах Воронцовского месторождения встречается редко. В основном наряду с апатитов в хлоритовой либо кальцитовой основной массе в виде вкрапленников до 30 мкм.

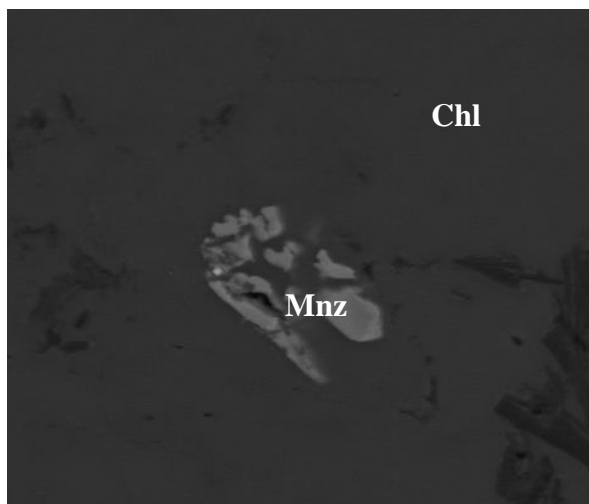


Рис 56. Монацит в хлоритовой основной массе. Изображение в обратных электронах. Mnz - монацит, Chl - хлорит.

Таблица 20.

Химический состав монацита

Компонент	Номер анализа	
	1 (389)	2(398)
Масс %.		
P ₂ O ₅	33,52	34,83
La ₂ O ₃	23,30	28,12
CeO ₂	27,00	27,56
Pr ₂ O ₃	3,01	0,00
Nd ₂ O ₃	13,16	11,97
Сумма	100,0	100,0
Формульные единицы		
La	0,36	0,35
Ce	0,40	0,40
Pr	0,05	0,06
Nd	0,20	0,19
Сумма	1,00	1,00
P	1,09	1,06

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 1 катиона

Титанит

Титанит встречается в породе в виде дендритообразных форм. Типичная ассоциация титанита – пирит, кальцит и хлорит. Диагностирован электронно-зондовым исследованием. Некоторые титаниты Воронцовского месторождения содержат ванадий в качестве примеси.

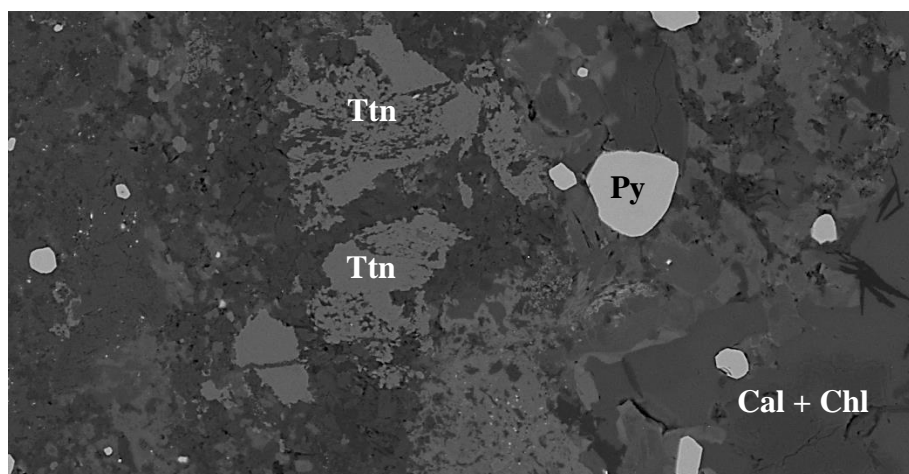


Рис 57. Титанит в кальцит-хлоритовой основной массе.
Изображение в обратных электронах.
Ttn - титанит, Chl - хлорит, Chl – хлорит, Py – пирит.

Таблица 21

Химический состав титанита

Компонент	Номер анализа					
	1 (347)	2 (368)	3 (431)	4 (432)	5 (493)	6 (499)
Масс %.						
SiO ₂	27,8	30,8	30,29	29,92	30,01	22,51
CaO	30,78	28,35	24,69	27,31	27,65	20,51
TiO ₂	33,86	38,66	29,74	34,78	35,42	51,58
FeO			5,33	1,4		
V ₂ O ₅				1,58	1,67	
Сумма	93,75	98,82	105,03	98,45	96,9	97,11
Формульные единицы						
Si	0,90	0,94	1,01	0,94	0,95	0,71
Ca	1,00	0,87	0,82	0,86	0,88	0,65
Ti	1,10	1,19	0,99	1,10	1,12	1,64
Fe ²⁺	0,00	0,00	0,18	0,04	0,00	0,00
V ⁵⁺	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00
Сумма	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

Примечание. Формульные единицы рассчитаны для 3 катиона.

Минералы		Теоретическая формула	Пропилиты	Мраморы с реальгаром и их брекчии	Мраморы с богатой сульфидно-цинковой минерализацией	Скарны гранатовые
Силикаты	Ортоклаз (↑Ba)	$K(AlSi_3O_8)$	вкрапленность	цемент		+
	Анортит (↑Ba)	$Ca(Al_2Si_2O_8)$	вкрапленность	цемент		+
	Клинохлор	$Mg_5Al(AlSi_5O_{10})(OH)_8$	породообр-й и цемент	цемент	+	породообр-й
	Шамозит	$(Fe^{2+}, Mg, Al, Fe^{3+})_6(Si, Al)_4O_{10}(OH, O)_8$	породообр-й и цемент	цемент	+	породообр-й
	Титанит	$CaTi(SiO_4)O$	+	+	+	+
	Алланит	$\{Al^{2+}REE^{3+}\}\{M^{3+}_2M^{2+}\}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$	+			вкрапленность
	Гроссуляр	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$				
Сульфаты	Барит	$BaSO_4$	+	+	вкрапленность	+
Фосфаты	Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(Cl/F/OH)$	+	+	+	+
	Монацит	$Ce(PO_4)$	+			+
Карбонаты	Кальцит	$CaCO_3$	по трещинам	породообр-й и цемент	породообр-й и цемент	породообр-й и цемент
	Доломит	$CaMg(CO_3)_2$	+	прожилки		+
Оксиды	Кварц	SiO_2	+	вкрапленность	вкрапленность	+
	Гетит	$Fe^{3+}O(OH)$	по трещинам		+	
Сульфиды	Пирит	FeS_2	вкрапленность и прожилки	вкрапленность	породообр-й и цемент	вкрапленность и прожилки
	Арсенопирит	$FeAsS$			вкрапленность	
	Халькопирит	$CuFeS_2$	вкрапленность		вкрапленность в сфалерите и цемент	вкрапленность
	Стибнит	Sb_2S_3		вкрапленность в реальгаре		
	Сфалерит	ZnS	+	+	вкрапленность и цемент	+
	Галенит	PbS	+		+	вкрапленность
	Молибденит	MoS_2				+
	Реальгар	As_4S_4		вкрапленность и прожилки		
	Гуэтардит (?)	$PbAsSbS_4$ (↑Sb)		вкрапленность в реальгаре		
	Густавит	$AgPbBi_3S_6$			+	
	Люборжакит (?)	Mn_2AsSbS_5 (↑Sb)			+	
Теллуриды	Колорадоит	$HgTe$		+		
Самородные элементы	Золото	Au		+	+	

Заключение

Всего диагностировано 27 минеральных видов

Руды этого месторождения делятся на исходные (из подземных горных выработок) и окисленные (коры выветривания) и содержат в себе помимо благородных металлов также и редкоземельные элементы, которые аккумулируют в себе монацит и алланит.

Основными породообразующими минералами руд являются – кальцит, пирит и реальгар. Основные породообразующие минералы вмещающих пород – клинохлор, шамозит, гранат.

Воронцовское месторождение представляет нашему вниманию большое разнообразие сульфидных минералов (13 минеральных видов), в том числе редких – вроде густавита и гуэттардита.

Золото встречается в самородном виде в двух типах руд:

1. Мраморы с реальгаром - в свободной форме в кальцитовой (или Qu-Rlg-Cal) массе
2. Брекчии мраморов с сульфидно-цинковой минерализацией - в виде включений в пирите

Серебро представлено только в одном типе:

1. Мраморы с сульфидно-цинковой минерализацией - в составе густавита.

Итоги работы

- Исследован минеральный состав вмещающих пород и руд Воронцовского месторождения
- Обновлено типизация пород и руд месторождения
- Выделено три морфологические генерации барита
- Впервые на месторождении обнаружены минералы группы сарторита.
- Установлена парагенетическая роль для минеральных фаз вмещающих пород и руд месторождения
- Для благородных металлов определены минералы-носители, форма нахождения и предпочтительные типы руд.

Список литературы и интернет-ресурсов

1. Модель формирования Воронцовского золоторудного месторождения на урале (карлинский тип): новые данные и проблемы, В. В. Мурзин, В. Н. Сазонов, Ю. Л. Ронкин, Литосфера №6, 2010 г., с. 66-73.
2. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис / Викентьев И.В., Тюкова Е.Э., Мурзин В.В., Викентьева О.В., Павлов Л.Г. Екатеринбург: Форт ДиалогИсеть, 2016. 204 с.
3. Официальный сайт АО «Полиметалл» / www.polymetalinternational.com
4. “Невидимое” золото в синтетических и природных кристаллах арсенопирита (Воронцовское месторождение, Северный Урал), Е.В. Ковальчук, Б.Р. Тагиров, геология рудных месторождений, 2019
5. Большая Российская Энциклопедия / www.bigenc.ru
6. Электронная некоммерческая база данных о минералах /www.mindat.org
7. Открытая систематизированная база данных о минералах и месторождениях /www.webmineral.ru