

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Геологический факультет
Кафедра геологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, член-корр. РАН, профессор
_____/В.В. Масленников/
« ____ » _____ 2019 г.

МИНЕРАЛОГИЯ ОКИСЛЕННЫХ РУД НОВОТЕМИРСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ЮУрГУ – 05.03.01. 2019. 203-01-011. ВКР

Руководитель, к.г.-м.н., сп. преп.

_____/А.М. Юминов/

« ____ » _____ 20 ____ г.

Автор

студент группы МиГео – 406

_____/А.А. Михайлова/

« ____ » _____ 20 ____ г.

Нормоконтролер, ст. преп.

_____/Н.Н. Анкушева/

« ____ » _____ 20 ____ г.

Миасс 2019

АННОТАЦИЯ

Михайлова А.А. Минералогия окисленных руд Новотемирского рудопоявления. Миасс: ЮУрГУ, МиГео-406, 30 с., 36 ил., 6 табл., библиогр. список – 22 наим.

Квалификационная работа выполнена с целью изучения минерального состава окисленных руд Новотемирского рудника.

В ходе написания квалификационной работы автором было уточнено геологическое строение рудопоявления.

Выделено два вида окисленных руд (образующиеся по серпентинитам и родингитам), дана их морфологическая и минералогическая характеристика.

Новотемирское проявление относится к медно-магнетитовому типу. С содержанием Cu в добываемых в древности рудах достигало до 20 %.

Рудная минерализация в основном представлена малахитом, азуритом и хризоколлой.

Впервые для данного месторождения были диагностированы ильменит, титанит (сфен), кубанит, алтаит, самородный висмут и платина.

ABSTRACT

Mikhailova, A.A. Mineralogy of oxidized ore Novotemirskogo (Nowotomyski) mine. Miass: Susu, MiGeo-406, 30 p., 36 il., 6 tab., bibliogr. list – 22 titles.

Qualifying work is done to study the mineral composition of oxidized ores Novosibirskogo mine.

In the course of writing the qualification work, the author clarified the geological structure of the ore manifestation.

On the basis of the studied information and the obtained data on the analyses, two types of ores were identified: oxidized ores in serpentinites and in rodingites.

The main ore mineralization is represented by malachite, azurite and chrysocolla.

Novotemir manifestation refers to copper-magnetite and is characterized by a Cu content of up to 20%, sometimes along the way there are concentrations of Cr, Ni, Zn, Pb.

For the first time this deposit was diagnosed accessory minerals such as ilmenite, sphene, cubanite, altaite, native bismuth and platinum.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	5
1.1. Полевые методы	5
1.2. Лабораторные методы	5
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ РАЙОНА	6
ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА.....	7
3.1. Общее геологическое положение территории	7
3.2. Стратиграфия.....	10
3.3. Магматизм.....	11
3.4. Тектоника	11
ГЛАВА 4. НОВОТЕМИРСКИЙ РУДНИК	11
4.1. Геологическое строение рудника и краткая характеристика вмещающих пород ..	11
4.2. Минеральный состав окисленных медных руд Новотемирского рудника	18
4.2.1. Основные минералы окисленных руд.....	18
4.2.2. Второстепенные минералы окисленных руд	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	30
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31
ПРИЛОЖЕНИЕ	

ВВЕДЕНИЕ

Квалификационная работа посвящена исследованию минерального состава окисленных медных Новотемирского рудника, разработка которого была начата еще с древности.

Работа основана на материале, добытом на производственной практике, которая проходила в Институте минералогии УрО РАН, в составе геoarхеологического полевого отряда в июле 2018 г. Кроме того, для более подробного изучения рудопроявления, автором были проанализированы материалы и часть коллекции образцов, переданных предшественниками.

Актуальность исследований состоит в изучении генезиса редкого и не достаточно изученного типа медно-магнетитовых месторождений, локализованных в серпентинитах и осложнённых телами родингитоподобных метасоматитов. Кроме того, знания о минеральном составе руд, использовавшихся в бронзовом и раннем железном веке, могут дать объективную информацию о хозяйственных связях и технологиях древних обществ Уральского региона.

Целью выпускной квалификационной работы является характеристика минерального состава вмещающих пород и руд древнего медного рудника Новотемирский и его особенностей геологического строения, разработка которого осуществлялась в конце бронзового – начале раннего железного веках.

Для выполнения решались следующие задачи:

1. Изучение геологического строения карьера, горных выработок и прибортовых отвалов.
2. Составление ситуационной схемы древнего рудника и карты фактов рудопроявления с указанием мест отбора проб.
3. Формирование эталонной коллекции образцов руд и вмещающих пород Новотемирского рудника.
4. Макроскопическое и микроскопическое описание образцов вмещающих пород и медных руд.
5. Диагностика минералов и комплексные аналитические исследования пород и руд объекта.

В ходе выполнения квалификационной работы были внесены дополнения в схему геологического строения рудопроявления. Автором производилась обработка шлихового материала и предварительная диагностика отдельных минералов, а также разделение их на фракции. Для оптической микроскопии были изготовлены 9 шлифов и 7 аншлифов, в которых определялись текстурно-структурные характеристики горных пород и руд. Автор участвовал в расшифровке 8 дифрактограмм минеральных смесей образцов Новотемирского рудопроявления, кроме того принимал участие в съемке специальных препаратов (шлифов и аншлифов) на сканирующем электронном микроскопе в Институте минералогии УрО РАН (аналитик И.А. Блинов).

Автор выражает благодарность своему руководителю, к.г.-м.н. А.М. Юминову и М.Н. Анкушеву за консультации и помощь при выполнении работы, также к.г.-м.н. И.А. Блинову, П.В. Хворову и Е.Д. Зенович за выполнение аналитических работ и интерпретацию полученных результатов.

ГЛАВА 1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выполнения выпускной квалификационной работы были проведены полевые, лабораторные и аналитические исследования.

1.1. Полевые работы

Во время полевых работ проводилась крупномасштабная геологическая документация горных выработок, отбор образцов руд и вмещающих породы составление карты-фактов объекта.

По результатам полевых работ был уточнен ситуационный план и схема рудопроявления, и сформирована эталонная коллекция образцов и дано их макроскопическое описание.

1.2. Лабораторные и аналитические исследования

Лабораторные и аналитические исследования включали участие в работах по изготовлению специальных препаратов (шлифов 9 шт., аншлифов 7 шт.) проведение шлихового анализа и диагностику минералов с использованием оптической и электронной микроскопии, рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализов.

Оптическая микроскопия в отраженном и проходящем плоскополяризованном свете проводилась в целях диагностики и определения текстурно-структурных особенностей строения горных пород и минералов, а также отборе монофракций для проведения рентгенофазового, рентгеноструктурного и рентгенофлуоресцентного анализов. Для оптической микроскопии использовались лабораторный микроскоп Olympus BX-51/52 с цифровой фотокамерой DeltaPix и бинокулярный микроскоп МБС-10.

По результатам микроскопических исследований было выделено 3 разных типа серпентинита и 2 типа родингитов.

Электронная микроскопия была задействована в целях определения размеров, морфологии (форм выделения) и диагностики тонких включений минералов. Съемка проводилась на электронном микроскопе Tescan Vega 3 sbu, оборудованном энергодисперсионной приставкой OXFORD INSTRUMENTITAT. Химический состав минералов и микропримеси определены методом микрозондового анализа. Условия анализа: напряжение на катоде – 30 кV; диаметр пучка – 5 мкм; время экспозиции – 60 сек, аналитик И.А. Блинов.

По результатам исследования установлены ранее неизвестные для данного месторождения минералы: ильменит, сфен, кубанит, алтаит, и самородная платина.

Рентгенофазовый анализ использовался для определения состава и примерного объема минеральных фаз в изучаемом материале. Препараты для исследований готовились на вазелиновой основе. Экспозиция проводилась в воздушно-сухом состоянии на дифрактометре ДРОН-2М; тип анода Cu (1.54178), шаг съемки 0,02. Расчет содержаний проведен методом Петера-Кальмана по экспериментально полученным коэффициентам; расчет проведен на 100% без учета рентгеноаморфной составляющей. Съемка и расчет количества минералов в смеси выполнены П.В. Хворовым.

Всего было продиагностировано 8 проб. Подтверждено наличие гранатов в родингитах, определен состав вмещающих серпентинитов и приповерхностных корок пород.

Рентгенофлуоресцентный анализ применялся для определения качественного и количественного состава геохимических примесей в рудах и горных. Анализ проводился на портативном рентгенофлуоресцентном анализаторе INNON-X- α -4000. Режим работы – Soil. Время экспозиции – 30 сек. Перед проведением измерений проводилась калибровка прибора с помощью эталонной металлической пластинки. Анализы и проверка полученных данных выполнены Е.Д. Зенович.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа в медных рудах месторождения содержатся значительные примеси хрома, никеля, в отдельных образцах – свинца.

Общее количество выполненных работ на участке приведено в таблице 1.1. Результаты анализов указаны в тексте отчета.

Таблица 1.1. Общий объем выполненных работ по выпускной квалификационной работе

Отбор и описание образцов	Виды анализов, шт.				
	оптическая микроскопия	электронная микроскопия	микронзондовый	рентгено-фазовый	рентгено-флуоресцентный
14	16	12	24	8	1

ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ РАЙОНА

Геолого-съёмочные работы на данной территории проводились с 1962 года, тогда была составлена первая Государственная геологическая карта масштаба 1:200000 на территорию листа N-41-XIX, которая послужила основой для дальнейших геологических построений. Составлена Л.Д. Булыкиным и В.Н. Ланцовой под редакцией И.Д. Соболева (Булыкин., Ланцова. (ред Соболев) 1962).

В 60-е годы съёмками масштаба 1:50000 была покрыта восточная и центральная части листа. Под руководством В.П. Бердюгина работы проводились П.М. Курбежековым (Курбежеков, 1963), Ф.А. Пискуновым (Пискунов и др., 1966), Р.Н. Шагиной (Шагина и др., 1965). Была уточнена стратиграфия каменноугольных толщ района за счет находок макрофауны. Возраст других толщ определялся в большой степени условно. Метаморфические толщи были изъяты из докембрия и отнесены к интервалу от раннего девона до раннего визе. Возраст серпентинитовых массивов трактовался как среднепалеозойский. Интрузивные породы были разделены на четыре комплекса от раннедевонского до позднепалеозойского.

В 70-е годы почти на всей территории листа геологическую съёмку вели партии В.В. Бабкина (Бабкин и др., 1971), Р.Н. Шагиной, Н.В. Левита, Б.А. Янкелевича (Янкелевич, Иванов и др., 1975). За это время были разработаны стратиграфические схемы Сухтелинской зоны, Восточно-Уральского прогиба и Зауралья.

В 80-х годах Е.П. Шулькиным и В.В. Бабкиным ГСР-50 в районе была практически завершена, а Ю.П. Бердюгиным было проведено геологическое доизучение района.

1986 году составлена Государственная геологическая карта масштаба 1:200 000 листа N-41-XIX, где были сведены результаты работ предыдущих лет, обобщен значительный объем собственных полевых и камеральных работ (Тевелев, 2000).

Последние обобщающие съёмочные работы 1:200000 производились группой геологов из МГУ под руководством А.В Тевелевым в 2005 г.

Поисковые работы на данной площади начали проводиться с середины 30-х годов прошлого века. В 1934 г. предварительно разведано Куликовское месторождение маршаллита. В 1950-е гг. серпентиниты опойскаваны на хризотил-асбест. На Куликовском массиве отмечены линзы, гнезда, шпирсы хромитов.

В 1960-х–1990-х гг. геологические съёмки и сопутствующие им поиски принесли новые данные по урану, золоту, кианиту, графиту, тальку, способствовали переоценке никеленосности Куликовского массива и перспектив других площадей и объектов.

В 1980-х гг. были намечены участки, перспективные на Au, Cr, Ni, бокситы, графит и другие полезные ископаемые. В серпентинитах Куликовского массива были выделены, а затем предварительно разведаны залежи кобальт-никелевых руд, а в ультрамафитах Куликовского массива были найдены медно-магнетитовые руды. Установлена никеленосность коры выветривания серпентинитов Куликовского массива (Булкина, Глушкова, 1999).

Геофизические исследования. Площадь участка полностью покрыта гравиметрическими съёмками масштаба 1:200000, частично более детальными. Современная цифровая карта гравитационного поля составлена в Баженовской геофизической экспедиции. Магнитное поле на территории листа изучено хорошо, карты крупномасштабных наземных съёмок разных лет, а

также карты аэромагнитных съемок среднего масштаба имеются практически на всю площадь, они сведены в УГСЭ ГПП (Баженовская ГФЭ, 1999).

Геоархеологические исследования. Первые сведения о археологической уникальности объекта были получены сотрудниками Института минералогии УрО РАН в 2015 г (Юминов и др., 2015). На основании проведенных работ ими была уточнена геологическая позиция рудника, составлен крупномасштабный ситуационный план древней выработки, установлены основные этапы добычи и перерывы в эксплуатации руд. Солидный возраст рудника (поздний бронзовый век (синташтинская культура) – ранний железный век (кашинская культура) был подтвержден археологическими находками (Медведева, Алаева, 2018). Последующие исследования позволили уточнить геологическое строение рудника, геохимические и минералогические особенности медных руд, добываемых в древности (Блинов и др., 2018).

ГЛАВА 3. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Изучаемая площадь находится в юго-восточной части Челябинской области в Чесменском районе. В структурном отношении территория расположена на пределах Урало-Тобольского плато, являющегося составной частью Зауральского пенеплена и приурочена к зоне контакта ультрабазитов Куликовского массива с вулканогенно-осадочными породами Сухтелинской зоны.

Геологическое строение участка очень сложное. Здесь широко распространены метаморфические, осадочные и магматические породы, чье образование в основном происходило в палеозое. Палеозоиды секутся разнообразными магматическими комплексами и перекрыты платформенным мезозойско-кайнозойским чехлом континентальных рыхлых образований небольшой мощности (Тевелев и др., 2000).

3.1. Стратиграфия

На обозначенной территории (район Новотемирского рудника) развиты вулканогенно-осадочные и метаморфические образования ордовикского (сланцевая толща), девонского (сухтелинская толща) и каменноугольного (биргильдинская толща) возрастов (рис. 3.1).

Стратиграфическое деление приведено по материалам А.В. Тевелева (2000). Согласно его исследованиям, отложения слюдинской и сухтелинской толщ относятся к андезито-кремнисто-алевролитовой формации склонов островных дуг. Биргильдинская толща была образована в карбонатной платформенной формации.

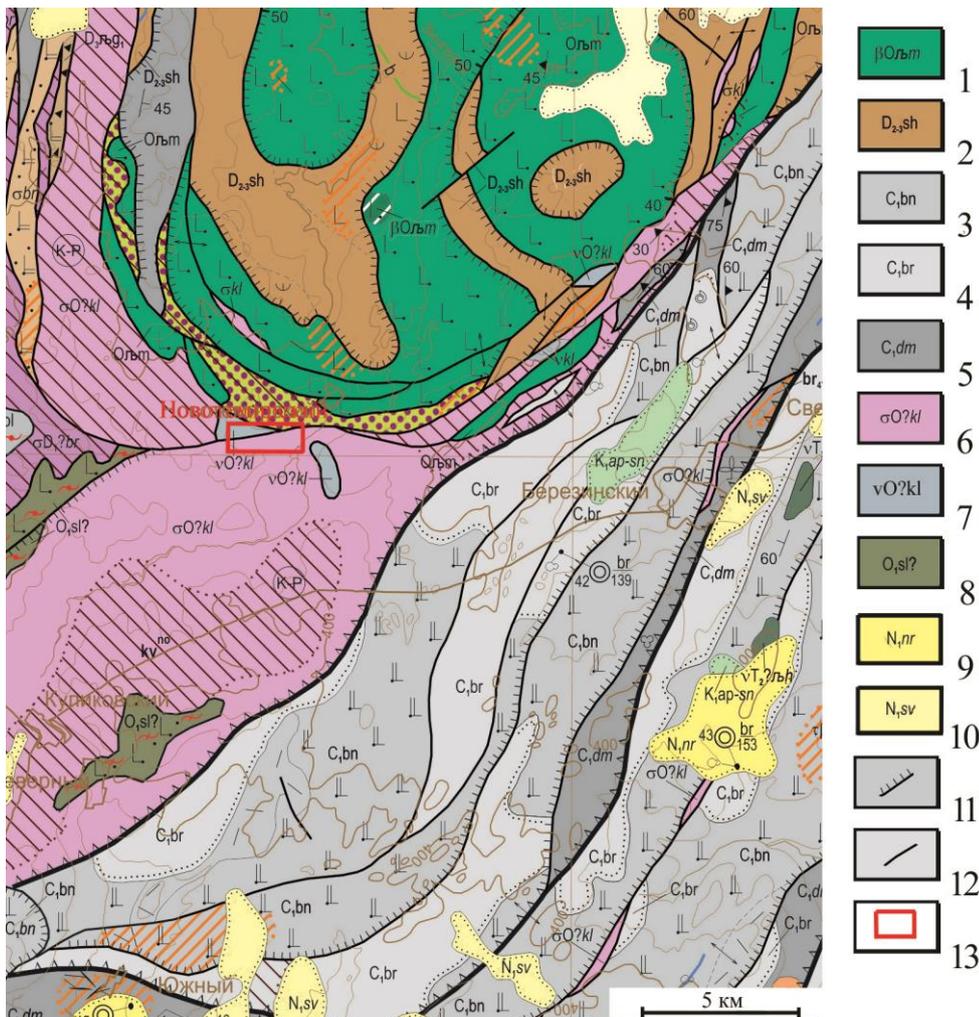


Рис.3.1.Схема геологического строения района исследований (по А.В. Тевелеву, 2000).
 1 – отложения
 2 –сухтелинская толща;
 3 – березиновская толща;
 4 – биргильдинская толща;
 5 – домбаровская свита;
 6 и 7 – породы куликовской свиты (7-коренные выходы);
 8 – слюдинская толща;
 9 – наурзумская свита;
 10 – светлинская свита;
 11 – разрывные нарушения;
 12 – границы свит;
 13 – место проведенных работ.

Слюдинская толща (O_{1sl?}), выделяемая в районе достаточно условно, отмечена на узком участке площади на его западном фланге. Она слагает тектонические пластины, надвинутые на известняки нижнекаменноугольной толщи. Несколько крупных блоков данных отложений фиксируются среди серпентинитов Куликовского массива.

Толща сложена базальтовыми и андезибазальтовыми метатуфами, углеродсодержащими кремнистыми метатуффитами, метатуффосилицитами. Рассланцованные базальтоиды превращены в кварц-эпидот-плагиоклаз-роговообманковые кристаллосланцы. По данным В.М. Мосейчука (2000), метавулканы метаморфизованы в фации зеленых сланцев, но сохраняют текстуры пирокластических пород. Акцессорная минерализация представлена рутилом, сфеном, лейкоксеном, пиритом и карбонатами.

Возраст толщи определен по находкам радиолярий. Западнее района толща прорвана гранитоидами астафьевского комплекса.

Сухтелинская толща (D_{2-3sh}) слагает крупные и мелкие тектонические пластины протяженностью 5–12 км, шириной 1–10 км в центральной и северной части изучаемой площади. На ее северном фланге имеются коренные выходы.

Разрез Сухтелинской толщи в разных пластинах примерно одинаков. В низах преобладают средне-крупнообломочные туфы, туфогравелиты, туфоконгломераты основного и смешанного состава. Выше они переслаиваются с алевролитами, сланцами. Верхи сложены чередующимися песчаниками, алевролитами и сланцами. Практически во всех разрезах встречаются маломощные прослой базальтов. Вулканы амфиболизированы.

Мощность толщи оценена приблизительно в 300–1000 м. Возраст толщи доказан фаунистически.

Для сухтелинской толщи, особенно ее верхов, типичны процессы преобразования в коре выветривания – рассланцованные осадочные породы, интенсивно каолинизированы,

лимонитизированы, имеют ярко-белую, розовую, палевою окраску.

Домбаровская свита (C_1dm) расположена в юго-западной части и простирается на северо-запад по разрезу. Свита сложена пачками осадочных пород, представленными песчаниками с примесью галечного материала, слабосцементированными плохо сортированными конгломератами и аргиллитами с отпечатками флоры, а также известняками, местами мраморизованными. Породы часто динамометаморфизованы и превращены в сланцы.

Вверх по разрезу и с юга на север в домбаровской свите увеличивается количество туфогенного материала, появляются прослойки мелко-среднеобломочных туффитов. Мощность свиты варьируется от 50–180 до 500–700 м.

Нижняя возрастная граница домбаровской свиты определяется по флоре, собранной в ее базальной пачке.

Березиновская толща (C_1bn) слагает несколько тектонических пластин протяженностью более 40 км при ширине от 2 до 16 км. Обнаженность березиновской толщи плохая. В редких коренных выходах встречаются вулканиты, осадочные породы не обнажены.

Толща сложена пачками вулканогенных, вулканогенно-осадочных, осадочных пород мощностью от метров до сотен метров при общей мощности толщи более 1500 м. В низах толщи картируются туфогенные песчаники, глинисто-кремнистые алевролиты, кремнистые сланцы, базальтоиды, их туфы, брекчии. Верхи сложены средними, кислыми вулканитами. На юге подзоны основание толщи слагают филлиты, глинисто-алевролитовые сланцы, кварцевые песчаники. Среди вулканитов березиновской толщи преобладают обильно порфиновые трахибазальты, с крупными фенокристаллами авгита и альбитизированного плагиоклаза.

Вторичные изменения пород толщи представлены контактовой амфиболизацией, хлоритизацией. Возраст березиновской толщи по редким сборам органических остатков (фораминиферов) устанавливается как визейский.

Биргильдинская толща (C_1br) распространена на юго-восточном фланге изучаемого участка, где представлена отдельными тектоническими пластинами и небольшими пологолежащими останцами. Толща резко несогласно залегает на дислоцированных подстилающих образованиях.

В разрезе толщи фиксируется переслаивание углистых известняков, окремненных, полосчатых мраморов с прослойками седиментационных брекчий, полосчатых известняков, смятых в коробчатые складки, а также брекчированных, окремненных известняков с вкрапленностью пирита, с прослоями слюдисто-углистых, известково-слюдисто-углистых, углистых, мусковитовых сланцев и полевошпат-кварцевых песчаников. Биргильдинская толща метаморфизована неравномерно: известняки, полностью мраморизованы и рассланцованы. Породы, залегающие в более спокойной тектонической обстановке, практически не затронуты мраморизацией, но значительно окремнены.

Возраст толщи установлен палеонтологически и определен по руководящим формам фораминифер.

Отложения неогенного возраста представлены двумя свитами: наурзумской и светлинской. Породы, как правило, имеют не высокие мощности и образуют локальные линзовидные тела на древней поверхности.

Наурзумская свита (N_1nr) образует несколько изолированных участков на всей площади листа, концентрируются главным образом в его депрессии. Породы представлены в верхней части преимущественно каолинитово-гидроslюдистыми глинами, а в нижней – пачкой серых и желтовато-серых песков, суглинков, гравийников, галечников, щебенников, тонкослоистых, обычно параллельно и, реже, косослоистых, иногда с линзами лигнитов, разнотернистых песчаников и мелкогалечных конгломератов на гидротетитовом цементе. Мощность свиты – до 5–6 м. Отложения датируются на основании региональных корреляций.

Светлинская свита (N_1sv) имеет в районе более широко распространение и занимает высокие и низкие водораздельные поверхности, склоны, древнюю эрозионную сеть, а также цоколи надпойменных террас. Свита сложена разнообразными суглинками и глинами с линзами мергелей, глинистых известняков, с конкрециями карбонатов, гипса, железняка, а также

кластитов: от землистых комковатых супесей до песков, галечников, щебенников. Отложения свиты относятся к разным генетическим типам: озерно-аллювиальному, делювиальному и пролювиальному. Мощность светлинских отложений достигает нескольких метров. Озерные разности светлинских пород часто оторфованы и содержат фауну пресноводных моллюсков (Бердюгин и др., 1986).

3.2. Магматизм

Магматические образования района не отличаются большим разнообразием, в основном представлены габбро-ультрамафитовыми и плутоническими комплексами. Значительно реже встречаются субвулканические и жерловые образования вулканических комплексов.

Ультрамафиты во всех зонах района слагают крупные, интенсивно меланжированные тектонические покровы, традиционно описываемые как массивы магматических пород. В покровах совмещены блоки разнообразных ультрамафитов (почти нацело серпентинизированных) и габбро, соотношения между которыми в большинстве случаев определить не представляется возможным. Не исключено, что в покровах оказываются перемешанными ультрамафиты и базиты различных формационных типов. Контакты их с вмещающими породами тектонические. Нередко встречаются многометровые зоны расщепления и раздавливания серпентинитов. Сами массивы интенсивно тектонизированы. В большинстве случаев они представляют собой зоны мономиктового меланжа.

Наиболее распространенными породами во всех комплексах являются антигоритовые серпентиниты, практически не содержащие реликты первичных минералов и структур. Ортопироксен полностью замещен баститом, иногда сохраняются оливин и клинопироксен.

Возраст ультрамафитовых комплексов определяется условно, исходя из самых общих представлений об их вхождении в единую офиолитовую ассоциацию с ордовикскими кремнисто-базальтовыми комплексами.

Куликовский комплекс ($vO?kl$) габбро-лерцолит-гарцбургитовый представлен Куликовским «массивом», расположенным в южном окончании Сухтелинской зоны. Массив имеет серпообразную в плане форму и состоит из сгруженных блоков апогарцбургитовых и аполерцолитовых серпентинитов, «цементированных» перематыми антигоритовыми серпентинитами. Встречены также блоки и глыбы габброидов. Габброиды местами замещены родингитами. Ультрамафиты Куликовского массива по химическому составу приближаются к породам офиолитовой ассоциации: высокие содержания MgO (33-39%), низкие – TiO_2 , Na_2O , K_2O . Габброиды с умеренным содержанием TiO_2 (около 0,5%) близки к низкотитанистым габброидам офиолитовой ассоциации (Тевелев и др., 2005).

Ультрамафиты Куликовского комплекса (σOkl) представлены апогарцбургитовыми и аполерцолитовыми разностями. Для последних характерно повышенное содержание Al_2O_3 и CaO высокие до 30–40 % содержания бастита. Залегание различных типов пород близко к простиранию контактов серпентинитов.

Антигоритовые серпентиниты слагают глыбы меланжа, *лизардитовые* – зоны расщепления. Породы характеризуются петельчатой структурой. Оливин практически не сохраняется. Петли сложены шнурами лизардита, в ячейках которых часто отмечается либо лизардит, либо серпентин. Бастит образует ксеноморфные зерна, распределение его в породе создает пятнистые, полосчатые текстуры. В *лерцолитовых* серпентинитах отмечается до 15% клинопироксена – диопсида, практически не подверженного вторичным изменениям. Аксессуарным минералом является хромшпинелид, образующий немногочисленные ксеноморфные зерна. В гарцбургитах с небольшим количеством бастита зерна хромшпинели крупные, иногда хорошо ограненные, в гарцбургитах с высокими содержаниями ортопироксена – мелкие ксеноморфные, в лерцолитах представлены скелетные формы зерен. Серпентиниты интенсивно брекчированы, содержат прожилки карбонатов, хризотила, хризотил-асбеста, зоны родингитов.

Породы основного состава Куликовского массива слагают отдельные тектонические блоки в серпентинитах и представлены долеритами, разноморфными габброидами, меланократового облика с габбровыми, офитовыми структурами. Плагиоклаз полностью сосюритизирован,

клинопироксен (диопсид) уралитизирован, титаномагнетит замещен лейкоксеном. Габброиды местами преобразованы в тонкозернистые родингиты, сложенными гранатом, диопсидом и везувианом (Тевелев и др., 2005).

3.3. Тектоника

В целом, район имеет покровно-складчатое многоярусное строение. Чехол представлен мезозойско-кайнозойскими платформенными отложениями, мощность которых последовательно увеличивается в восточном направлении.

В основании аллохтона расположен Куликовский серпентинитовый массив, местами интенсивно меланжированный. Серпентиниты перекрыты синформно изогнутым пакетом из 15–17 тектонических пластин, часть из которых сложена базальтоидами ордовикской кремнисто-базальтовой формации, а другие – вулканогенно-кремнистой формацией девона. Тектонические пластины, сложенные разными формациями, чередуются друг с другом, образуя своеобразный «слоеный пирог».

Сухтелинский шарьяж с запада срезан Уйско-Новооренбургской шовной зоной, а на востоке надвинут на краевую зону Восточно-Уральского мегаблока. В западном борту Сухтелинского аллохтона расположен реликт крупного палеовулкана полоцкого вулканического комплекса: центральный жерловый аппарат сложного зонального строения (2×2,5 км) окруженный серией мелких, простых паразитических жерловин, локализованных, вероятно, в оперяющих радиальных разрывах.

Общая мощность Сухтелинского покрова составляет 6–8 км. Углы падения частных надвигов в пределах аллохтона колеблются от 30 до 70°. Существенно различается внутренняя структура пластин, сложенных разными породами. Пластины базальтоидов дислоцированы слабо, в них прослеживаются лишь локальные зоны расланцевания, а кремнистые породы, напротив, смяты очень интенсивно, в них повсеместно наблюдаются сложные, мелкие дисгармоничные складки, будинаж. Восточный борт Сухтелинского аллохтона разбит киммерийскими левыми сдвигами северо-западного простиранья.

ГЛАВА 4. СТРОЕНИЕ И МИНЕРАЛОГИЯ НОВОТЕМИРСКОГО РУДНИКА

Новотемирский древний рудник находится на северной оконечности Куликовского гипербазитового массива и расположен в 1 км юго-юго-восточнее одноименного поселка по левому берегу р. Зингейка.

4.1. Геологическое строение рудника и краткая характеристика вмещающих пород

Новотемирское медно-магнетитовое проявление представлено магнетитовыми рудами с вкрапленностью халькопирита и сфалерита, залегающими в хлорит-пренитовых и хлорит-везувиан-пироксеновых метасоматитах среди серпентинитов. В массивной руде суммарное содержание оксида железа до 90 %, в густовкрапленной – до 60 %. Кроме магнетита и халькопирита, встречаются гематит, иногда сфалерит (Шильников и др., 1932).

Проявление с поверхности полностью отработано, перспективы фланговых зон и на глубину до настоящего времени не ясны. Разведочные работы не проводились.

Древний карьер был заложен в конце бронзового века и ориентировался исключительно на добычу меди. Разрабатывались окисленные медные руды, в которых содержание меди, после предварительного обогащения достигало до 20 мас. % (табл. 4.1). Руды отличались повышенными концентрациями хрома, никеля. В отдельных пробах присутствовал мышьяк 0.3 % (Блинов и др., 2018).

Таблица 4.1. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа руд Новотемирского медного рудника (Юминов и др., 2015)

№ обр.	Исследуемый материал	Содержание, %			
		Cu	Fe	Cr	Ni
НТ-1-1	окисленные медные руды с обогатительной площадки	17.75	17.74	-	0.09
НТ-3	корки малахита на серпентините	20.17	5.24	0.15	0.10
НТ-4	бурые железняки по родингитам	3.61	70.10	0.07	-
НТ-4а		3.06	72.24	0.07	-

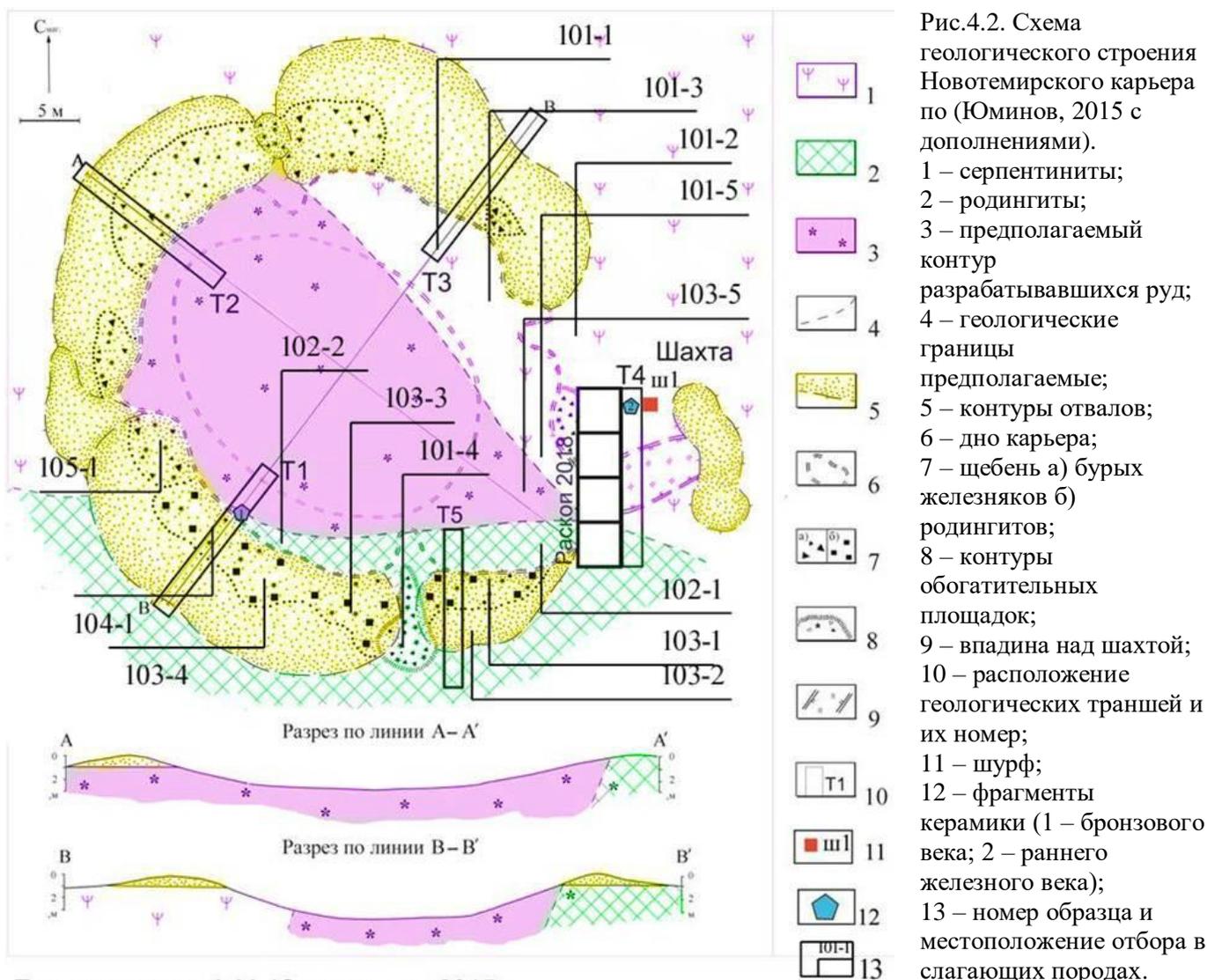
Примечание: прочерк – концентрация элемента находится ниже предела чувствительности прибора.

Форма карьера овальная, напоминает вид углубленной впадины, размер 25–30×40 м, современная глубина ≈2.5 м (рис.4.1 и 4.2). Борты самого рудника сглажены, днище плоское, в дождливое лето заполняется водой, но на момент работы с рудником был полностью высушен. Ложе карьера почти полностью заполнено техногенными отложениями (суглинки, песок, дресва) и гумусированным глинисто-щебнистым материалом, перемещенным в результате оползания части отвала. В большей степени древний карьер задернован и вскрывает кору выветривания.



Рис. 4.1. Современный вид Новотомирского рудника в июле 2018 года.

Выработка карьера окружена четырьмя оплывшими отвалами серповидной формы, разделенных узкими проходами. Отвалы отсыпались в непосредственной близости от борта древнего карьера, что существенно ограничивало размеры выработки и сокращало масштаб добычи руд. По наличию нескольких уровней погребенных почв в отвале, можно предположить, что рудник пережил четыре этапа эксплуатации.



Карьер расположен в периферийной части Куликовского массива. Выработка вскрывает зону окисления. Оруденение приурочено к зоне контакта апогарбургитовых и аполерцолитовых серпентинитов с дайкой родингитов.

Серпентинит является метаморфической горной породой, образование которой происходило в результате изменения (серпентинизации) гипербазитов при метаморфизме магматических пород.

Серпентиниты на Новотемирском руднике залегают в виде сплошных масс и линзовидных тел, пластов (рис. 4.3 и 4.4). Цвет пород варьирует от бледно-серо-зеленого до темно-зеленого цвета. Текстура пятнистая, вызванная многочисленными мелкими светло-желтыми пятнами бастита. Однако в арогарцбургитовых разностях – чаще однородная. В зоне контакте с дайкой породы в значительной мере оталькованы и хлоритизированы. А непосредственно на контакте встречаются серпентинитысекущиеся многочисленными тонкими карбонатными прожилками, несущими обильную малахитовую минерализацию.



Рис. 4.3. Выходы серпентинита в борту карьера (обр. 101-2).



Рис. 4.4. Образец серпентинита с Новотемиского рудопроявления (101-2).

В основном, породы сложены минералами группы серпентина антигоритом и хризотилом, и карбонатами (доломитом) (рис. 4.5).

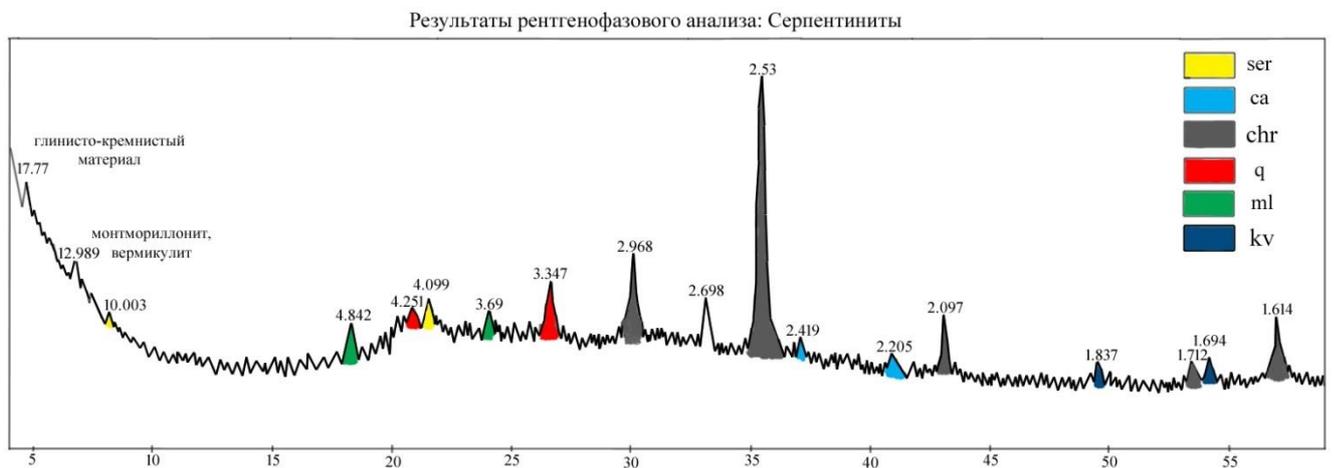


Рис. 4.5. Фрагменты дифрактограммы серпентинита (обр.103-2-2).

Буквами на рисунке обозначены минералы: chr – хромшпинелиды, ca – кальцит, q – кварц, ser – серицит, ml – малахит, kv – ковеллин.

Антигорит обычно образует пластинчатые или призматические зерна от 0,015 до 0,07 мм, но в редких случаях можно наблюдать заполнение трещин и образование прожилков, сохраняя пластинчатую форму выделения.

Хризотил имеет волокнистую и листоватую, чешуйчатую форму выделений и зерна размером до 0,65 мм и меньше, иногда с редко различимыми формами кристаллов, по которым шло замещение первоначального оливина.

Хризотил-асбест образует складчатые прожилки мощностью от 0,3 до 0,6 мм, которые образуются по трещинам.

Бастит развивается по гипидиоморфным зернам ортопироксена (энстатита), при этом частично сохраняет первичную структуру замещенного минерала, и сложен крупнопластинчатыми агрегатами размером от 0,015 до 0,95 мм. В некоторых случаях зерна сильно деформированы и смяты в складки в нескольких направлениях, образуя решетчатую или параллельно-полосчатую структуру агрегатов.

Доломит представляет собой небольшие прожилки мощностью до 0,4 мм и в основном с нечеткими изъеденными границами.

Серпентиниты, как правило, в той или иной степени хлоритизированы и оталькованы.

Хлорит (*пеннин*) заполняет трещины, образуя прожилки разной мощности от 0,02 до 0,35 мм.

Тальк образует мелкочешуйчатые агрегаты от 0,025 до 0,3 мм, но иногда встречается в виде тонких пластинок, и является вторичным минералом по оливину, редко по ромбическому пироксену.

Реликтовая минерализация представлена оливином, пироксеном (энстатитом, бронзитом, диопсидом) и сложена неправильными изометричными и призматическими зернами от 0,037 до 0,65 мм с коррозионными границами.

Акцессорная минерализация в породах проявлена слабо. Из аксессуариев наиболее распространен магнетит и хромит. Крайне редко в отдельных зонах наблюдается халькопирит и гранат.

Серпентиниты Новотемирского рудника обладают разнообразными структурами: решетчатой, бластопорфировой, тонко-листовато-чешуйчатой, иногда петельчатой. В редких случаях сохраняется структура основной ткани, где она представлена микролепидобластовой и брекчиевой структурами (рис. 4.6).

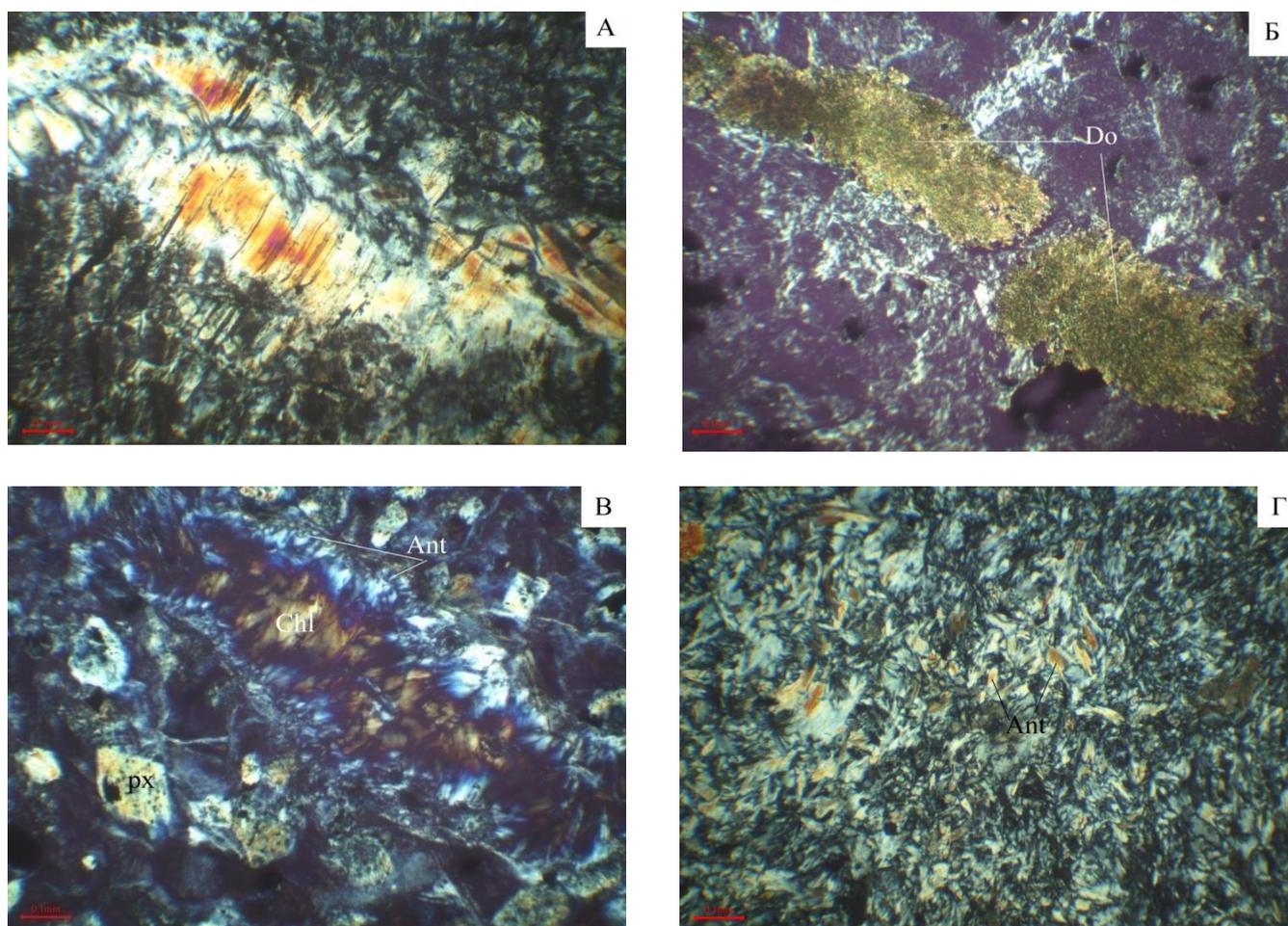


Рис. 4.6. Микроструктуры серпентинитов (обр.101-1, 101-2, 101-4, 103-5).

А – хризотил-асбестовые прожилки в основной массе деформированных зерен бастита, образующие решетчатую структуру; Б – карбонатные прожилки, представленные доломитом (do), в основной массе гребенчатого серпентина (антгорита), образующего петельчатую структуру; В – хлорит (chl) – антигоритовый (ant) прожилок с перекристаллизованными пластинчатыми зернами пироксена (px), образующие бластопорфировую структуру; Г – мелколистоватые тонкочешуйчатые зерна антигорита (ant) в основной тонко-листовато-чешуйчатой массе.

Родингит метасоматическая горная порода, образовавшаяся при изменении базитов, располагающихся в непосредственной близости с серпентинитами или внутри них. Для родингитов характерно высокое содержание CaO и пониженное – SiO₂ (Петрографический словарь, 1981).

Родингиты на Новотемирском руднике образуют широкое дайкообразное тело субширотного простирания (рис. 4.7 и 4.8), сложенное ощутимо тяжелыми плотными однородными породами светло-серого и темного серо-зеленого цветов.

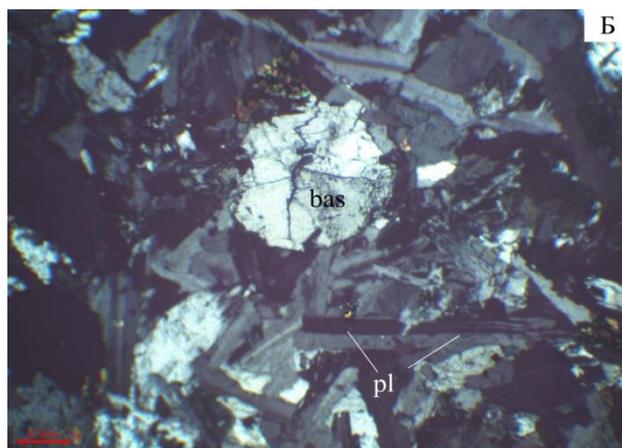
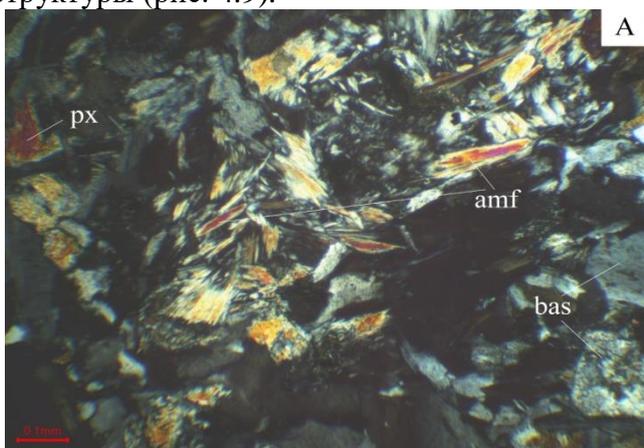


Рис. 4.7. Выходы родингитов в забое карьера (обр. 102-1).



Рис. 4.8. Образец родингита Новотемирского рудопроявления (обр. 102-1).

Структура породы гранобластовая. Иногда сохраняются реликты порфиробластовой структуры (рис. 4.9).



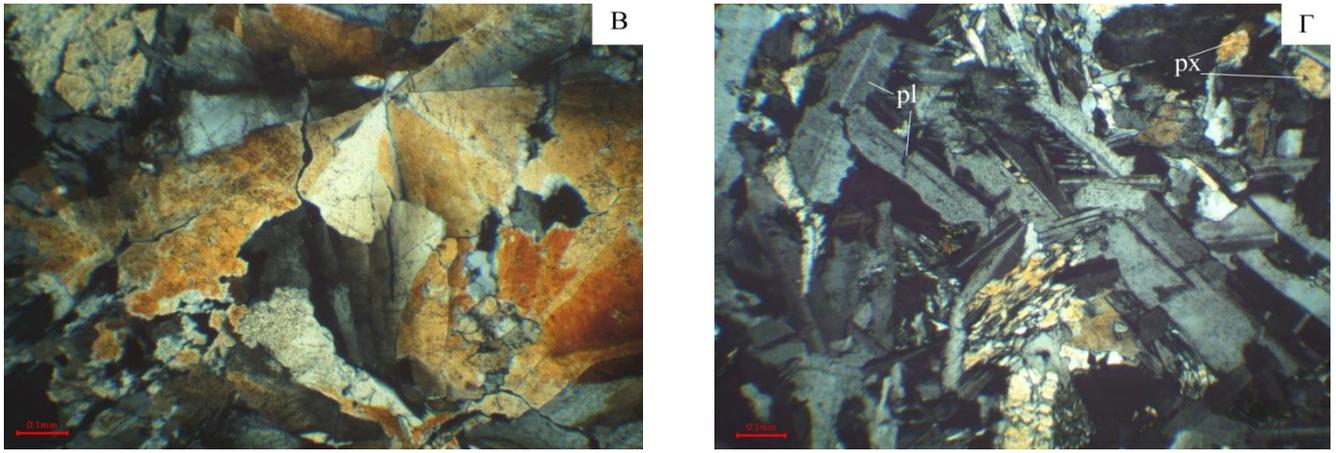


Рис. 4.9. Микроструктуры родингитов (обр.102-1).

А – тонкоигольчатые выделения амфибола (amf) и измененными зернами пироксена (px), замещенные частично пренитом; Б – коррозионные пластинчатые зерна бастита (bas), с рядом срастающим включениями клиноцоизита и тонко-таблитчатых зерен плагиоклаза (pl); В – лучистые агрегаты пренита с волнистым погасанием; Г – удлиненно-таблитчатые зерна основного плагиоклаза (pl), с измененными коррозионными призматическими зернами пироксена (px).

В минеральном составе пород преобладают гранат (гроссуляр-андрадитового ряда) и пироксены при небольшом содержании хлорита (см.рис. 4.10).

Результаты рентгенофазового анализа: Родингиты

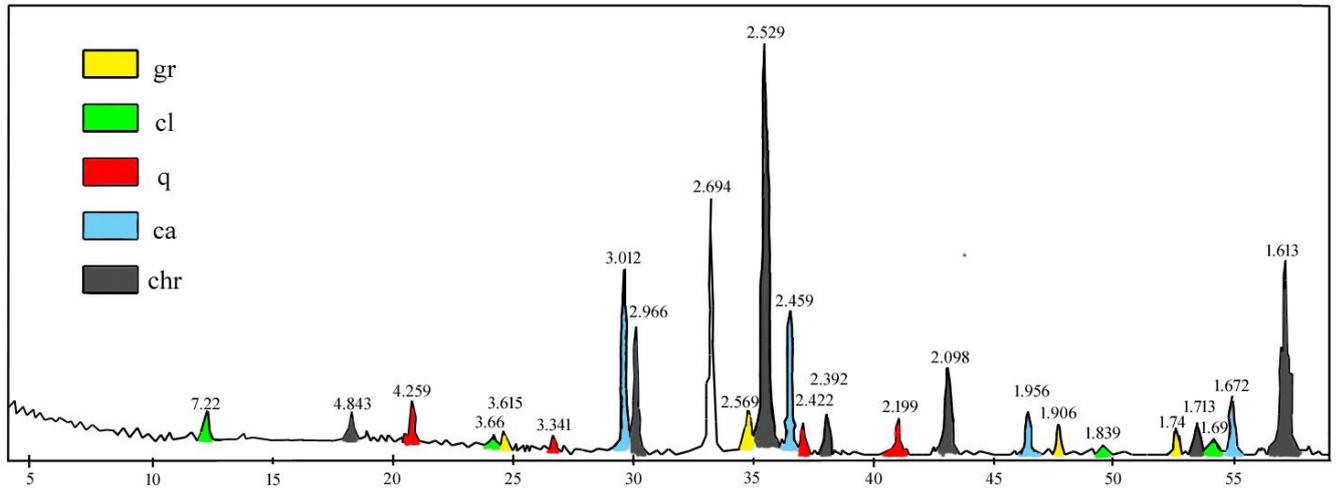


Рис. 4.10. Фрагменты дифрактограмма родингита(обр.102-1)

Примечание. Буквами на рисунке обозначены минералы: chr – хромшпинелиды, ca – кальцит, q – кварц, gr– гранат, cl – хлорит.

Гранат (гроссуляр-андрадит) обычно образует неплохо ограненные кристаллы размером от 0,02 до 0,15 мм, но в большинстве случаев встречаются изометричные зерна с четким рельефом. Вариации химического состава минерала приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Химический состав гранатов из родингитов Новотемирского рудника

№ обр.	№ анализа	Содержание, мас. %				Сумма, %
		CaO	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
103-1	19273c	33.84	28.43	0.28	36.83	99.37
103-6	19273j	33.55	29.92	–	35.95	99.41

103-7	19274d	33.7	29.35	0.29	37.21	100.54
103-7	19279f	34.00	29.46	–	37.30	100.75
103-1	19280с	34.26	27.43	0.76	37.04	99.48

Примечание: анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе TescanVega 3. Аналитик Блинов И.А. Прочерк – не обнаружено.

Пироксен (дионсид) имеет неправильные удлинённо-призматические короткостолбчатые кристаллы и зерна от 0.1 до 0.55 мм, причем очень характерно их поперечное сечение. Часто происходит замещение зерен пироксена амфиболом и пренитом.

Плагиоклаз (лабрадор) наблюдаются в виде удлинённых таблитчатых и короткопризматических кристаллов размером от 0.23 до 0.57 мм.

Образование родингитов сопровождается процессами автометаморфизма – в незначительном количестве амфиболизация моноклинных пироксенов, а эпидотизация и пренитизация возникли за счет неустойчивого основного плагиоклаза и моноклинного пироксена.

Минералы группы эпидота (эпидот, клиноцоизит) образуют призматические, шестоватые кристаллы, иногда представлен в виде мелкозернистых агрегатов до 0.14 мм.

Пренит в большей степени находится в виде лучистых агрегатов до 0,64 мм, напоминающих веерообразные формы, встречается также в виде табличек и призматических зерен от 0,17 до 0,46 мм.

Амфиболы (гр. тремолит–актинолита) имеют вид тонко-удлинённых табличек и иголок размером от 0,1 до 0,18 мм.

Акцессорная минерализация в родингитах проявлена на порядок выше, чем в серпентинитах. Наряду с указанными ранее магнетитом и хромитом в породах обнаружены гематит, ильменит, сфен, пирит, халькопирит с развивающимися по нему халькозином и ковеллином, а также самородная платина и висмут.

На поверхности открытых трещин в породах фиксируются многочисленные дендриты оксидов/гидрооксидов железа и марганца. В юго-западном борту рудника на контактах родингиты секутся серией тонких карбонатных прожилков различной ориентации.

4.2. Минеральный состав окисленных медных руд Новотемирского рудника

В зоне окисления Новотемирского рудопоявления непосредственно в самом древнем карьере фиксируются выходы бурых железняков, несущих медную минерализацию. Оруденение приурочено к зоне контакта серпентинитов с телом родингитов. Рыхлый охристо-глинистый материал, покрывающий куски руды, представлен тонкой смесью смектитизированного железистого хлорита и гидроксидами железа.

Медные руды Новотемирского рудника, которые интенсивно разрабатывались в древности, можно подразделить на два основных типа:

- 1) окисленные руды по серпентинитам;
- 2) окисленные руды, связанные с родингитами.

Главными рудными минералами являются как для первого, так и для второго типа руд являются малахит, азурит, хризоколла. В рудах они встречаются часто совместно, в различных соотношениях и образуют маломощные прожилки, корочки и примазки (рис. 4.11; 4.12).



Рис. 4.11. Корки медной зелени на серпентините (обр. 103-3).



Рис. 4.12. Выделения окисленных минералов меди на родингите (обр. 103-1)

К настоящему времени различными авторами диагностировано 45 разнообразных минералов, входящих в состав окисленных руд (табл. 4.3).

Ниже приводится их краткая характеристика.

4.2.1. Основные минералы окисленных руд

Малахит $Cu_2CO_3(OH)_2$ широко распространён в рудах двух типов, где он образует сплошные колломорфно-волокнистые массы, пятна, прожилки мощностью до 0,1 мм, реже отдельные кристаллы в рудах серпентинитов и родингитов. Иногда встречаются сферолитовые тонковолокнистые почковидные агрегаты. Малахит обычно ассоциирует с азуриком, а также выполняет пустоты в колломорфных агрегатах лимонита и хризоколлы (рис. 4.13). Микронзондовые исследования выявили в составе малахита примеси FeO 1,30–3,10%.

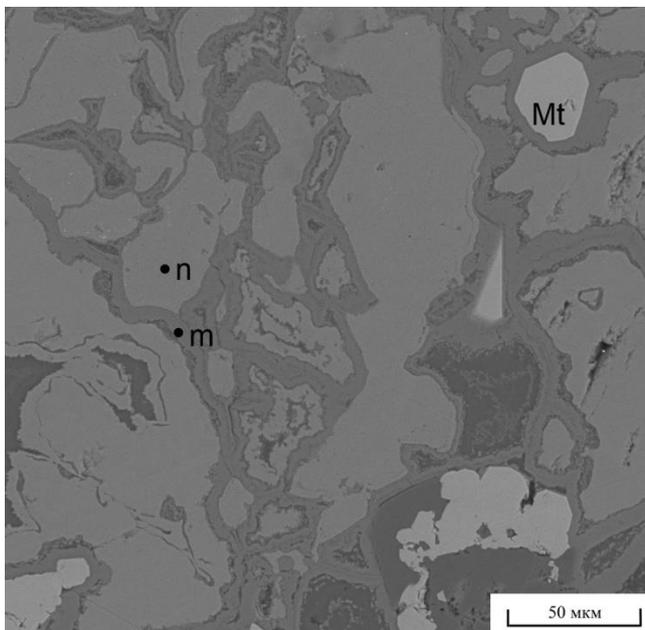


Рис. 4.13. Фото СЭМ. Развитие колломорфных агрегатов лимонита (оксидов и гидроксидов железа m – серое) и малахита (n – темно-серое) по магнетиту (Mt – светло-серое) (обр. 103-6)

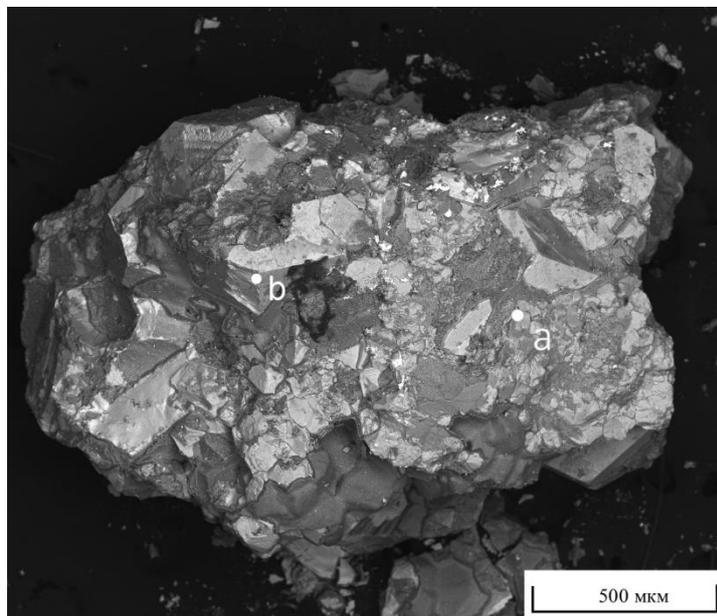


Рис. 4.14. Фото СЭМ. Сrostки октаэдрических и ромбододекаэдрических кристаллов магнетита (в точке b) в основной цементирующей массе азурита (в точке a) (обр. 103-3-2)

Минерал имеет насыщенно-зеленый цвет с разнообразными оттенками. Непрозрачен и не просвечивает. Отличается матовым блеском. Цвет черты зелёный разных оттенков, от бирюзового до очень тёмного, в зависимости от плотности. Твердость от 3,5 до 4.

Азурит $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$ распространен значительно реже малахита и, в основном, встречается в рудах, развитым по серпентинитам. Он образует пятна до 1 см, прожилки мощность до 0,25 мм, губчатые агрегаты или в исключительных случаях отдельные мелкие таблитчатые кристаллы и их сростки. Минерал ассоциирует с малахитом, хризоколлой и гидроксидами железа. Встречаются сростания с кристаллами магнетита с вкраплениями сульфидов (рис. 4.14).

В составе азурита отмечаются примеси FeO до 4,39 мас. %.

Минерал непрозрачный. Он имеет лазурно-синий цвет и темно-синюю черту. Как и большинство карбонатов вскипает в соляной кислоте (HCl). Твердость – от 3,5 до 4.

Хризоколла $(Cu)_2H_2Si_2O_5(OH)_4nH_2O$ образует сплошные массы и пятна с характерным раковистым изломом, а также выполняет пустоты и трещины (рис. 4.15). Часто встречаются тонкие прожилки вместе с малахитом и лимонитом. Выделения хризоколлы более характерны для руд, образованных по родингитам.

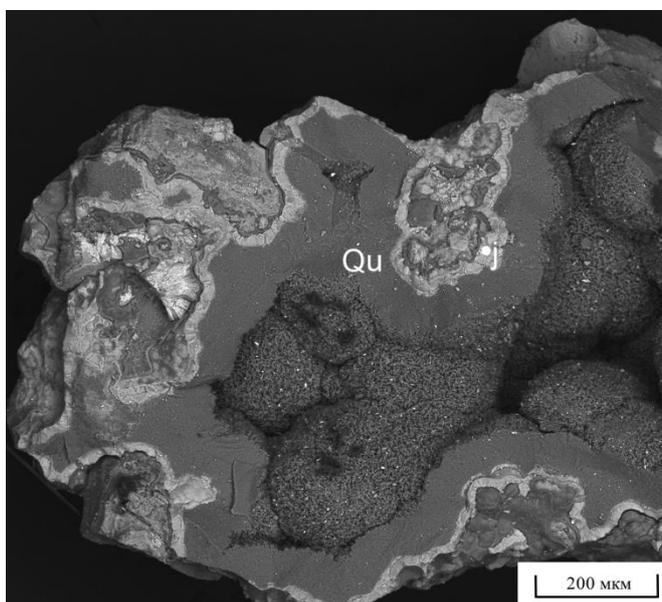


Рис. 4.15 Фото СЭМ. Зональные колломорфные выделения кремнезема (опал-кварц?) и хризоколлы (в точке j) (обр. 103-3-14)

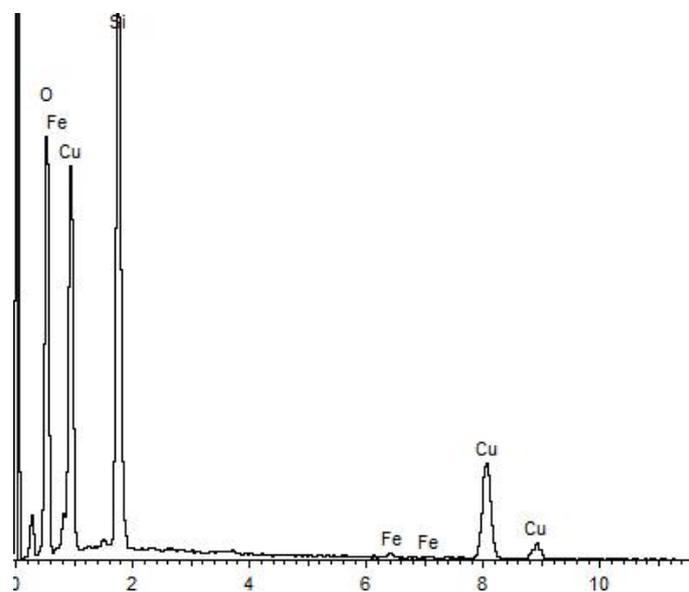


Рис. 4.16. ЭДС хризоколлы в точке j

Имеет цвет от бирюзового до зелено-синего, а цвет черты светло-зеленый. Минерал непрозрачен, но иногда образуются просвечивающие края на сколе. Блеск стеклянный, встречается жирноватый, или восковой.

Минерал рентгеноаморфен и диагностируется по ЭД-спектам и микрозондовым анализам (рис. 4.16). В образцах присутствует хризоколла нескольких разновидностей, которые отличаются в отраженных электронах, что связано с разным содержанием воды и соотношением Cu/Si. По составу хризоколла характеризуется неустойчивым набором CuO 16.81–51.6, SiO₂ 16.86–49.66. Также содержатся примеси FeO 0.27–18.11, Al₂O₃ 0.43–2.78, MgO 0.46–2.87, CaO 0.2–0.92, SO₃–0.37, NiO–0.27, K₂O–0.15.

Лимонит. Под лимонитом понимается минеральная смесь многочисленных оксидов и гидроксидов железа. Лимонит в зоне окисления широко развит, он в большом количестве встречается как в рудах серпентинитов, так и в родингитах. Содержание суммарного FeO в смеси варьирует в пределах от 56,4 до 62,04. Выделение гидроксидов железа связано с химическим выветриванием на поверхности. Лимонит имеет бурую, охристо-желтую окраску с матовым, реже я смолянистым блеском. Черта ржаво-бурая. Твёрдость и химический состав материала непостоянна и изменяется в зависимости от примесей (табл. 4.3).

Таблица 4.3 Состав гидроксидов железа с Новотемирского рудника

№ обр.	№ анализа	Содержание, мас. %											Сумма, %
		FeO	CuO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CoO	NiO	ZnO	MgO	
103-6	19273g	58.98	9.09	0.27	0.33	14.78	0.33	–	–	–	–	–	83.78
103-6	19273i	58.57	10.04	0.22	0.31	8.42	0.74	0.13	–	–	–	–	78.44
103-6	19273m	56.4	7.56	–	0.47	11.34	–	–	1.00	1.76	–	–	78.53
103-7	19274c	60.8	7.28	0.24	–	7.89	0.43	–	1.14	1.29	0.53	–	79.58
105-1	19279a	62.05	2.65	0.2	0.34	10.59	–	–	0.45	0.99	–	0.32	77.59

Примечание: анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3. Аналитик Блинов И.А. Прочерк – не обнаружено.

Лимонит образует сплошные плотные землистые массы, корки и заполнения по трещинам (рис. 4.17). Нередко наблюдается кайму обрастания и замещение вокруг зерен халькопирита с тонкими прослойками хризоколлы (рис. 4.18).

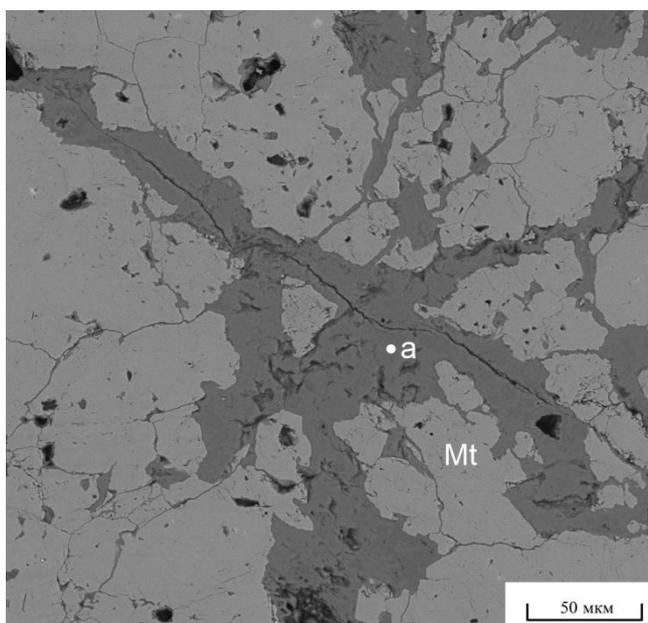


Рис. 4.16. Фото СЭМ (обр. 105-1). Развитие лимонита (а – серое) по трещинам в магнетите (Mt – светло-серое)

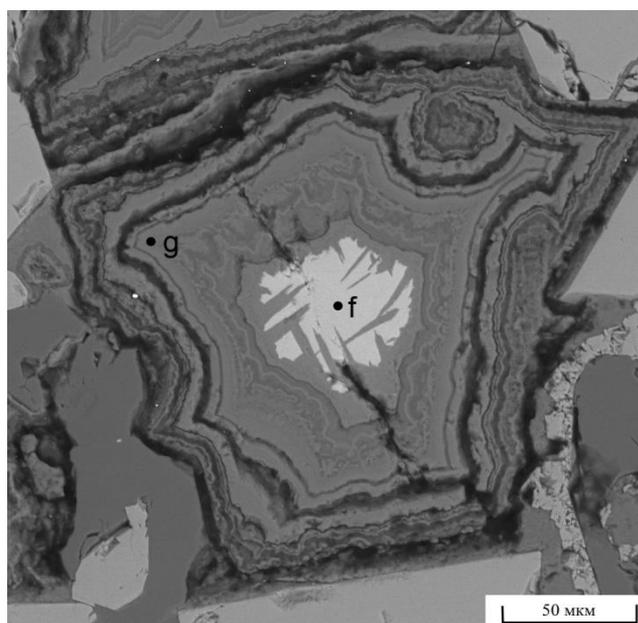


Рис. 4.17. Фото СЭМ (обр. 103-6). Замещение халькопирита (f – светло-серое) лимонитом (g – серое) с тонкими прослойками хризоколлы

4.2.2. Второстепенные минералы окисленных руд

Магнетит Fe_3O_4 образует густую вкрапленность вплоть до массивных рудных прожилков во вмещающих серпентинитах и родингитах. Минерал представлен изометричными зёрнами размером 0,1–0,5 мм и хорошо ограненными кристаллами октаэдрической и додекаэдрической формы (рис. 4.18), реже встречается комбинация форм куб-октаэдра размером до 5 мм (рис. 4.19).

Минерал непрозрачный и имеет цвет от стально-серого до черного. Иногда в результате окисления на поверхности образуется буроватая побежалость. Блеск металлический, значительно реже – матовый. Цвет черты черный. Минерал обладает сильными магнитными свойствами.

Ранее в магнетите были обнаружены микровключения кобальтина, кобальтпентландита, халькопирита, борнита и арсенида никеля размером до 30 мкм. Кроме того, в зоне окисления по минералу интенсивно образуется лимонит.

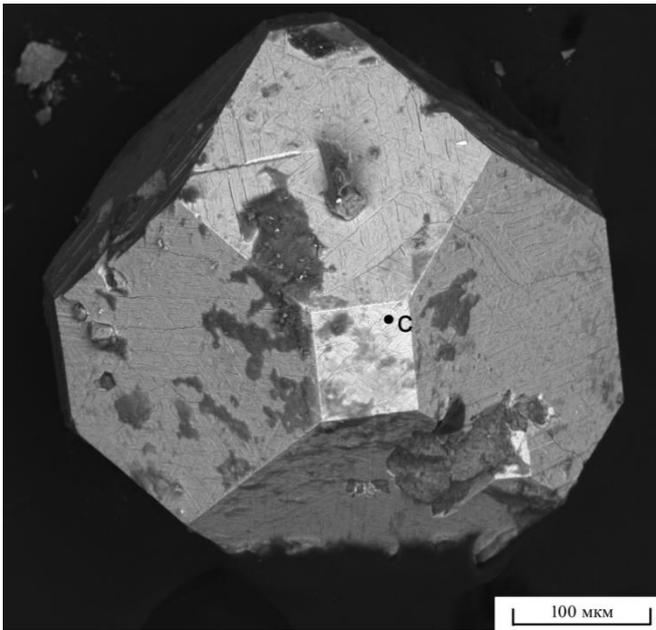


Рис. 4.18. Фото СЭМ (обр. 103-3-4).

Ромбододекаэдрический кристалл магнетита с характерной штриховкой на гранях. Темные налеты – корки хризоколлы.

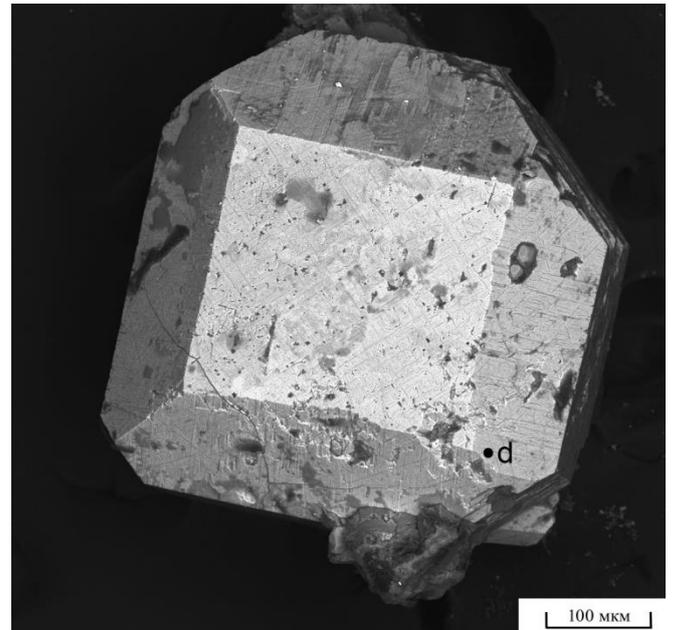


Рис. 4.19. Фото СЭМ (обр. 103-3-5). Куб-

октаэдрический кристалл магнетита. Темные налеты – корки хризоколлы.

По химическому составу различаются дверазновидности магнетита: относительно чистый и хромсодержащий (рис. 4.20).

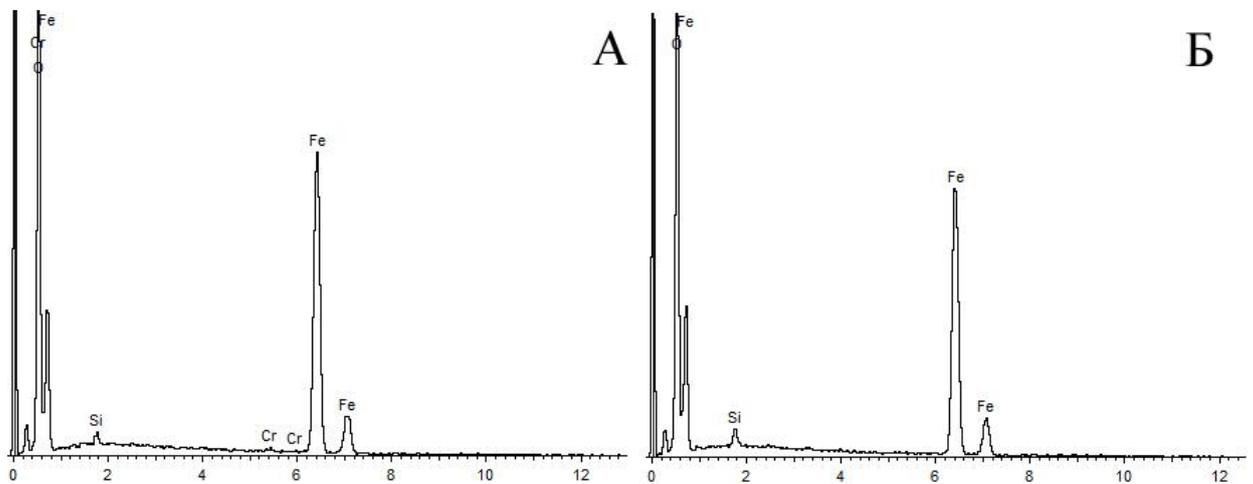


Рис. 4.20. ЭДС магнетита

А – хромсодержащий в точке с; Б – относительно чистый в точке d.

Хромит $FeCr_2O_4$ образует сплошные зернистые до плотной массы вкрапления; редко кристаллы (октаэдры). Минерал непрозрачный железо-черного цвета с блеском от металлического до полуметаллического. Цвет черты темно-бурая. Обладает слабыми магнитными свойствами, иногда еле уловимыми. Химический состав хромита представлен в таблице 4.4. Имеет содержание Cr_2O_3 –65.3, FeO –31.55 с незначительными примесями Mn, Zn, Mg.

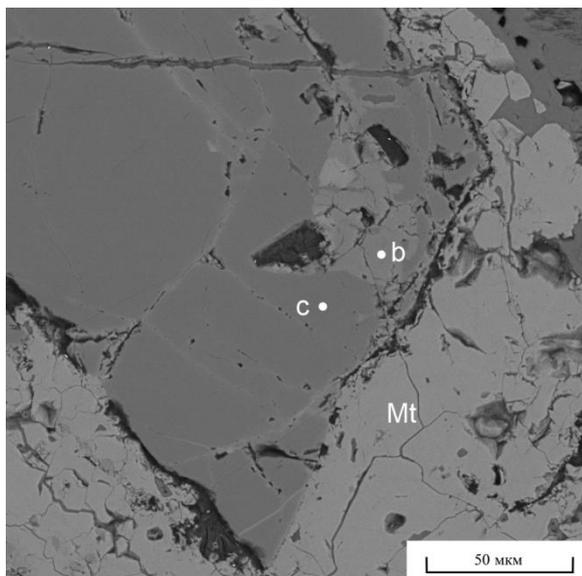


Рис. 4.21. Магнетитовая кайма (Mt – светло-серое) по хромшпинелидам (b, c – серое).

Хромшпинелиды присутствуют как акцессорные минералы в серпентинитах в виде отдельных трещиноватых зёрен размером 0,5–1,0 мм. По периферии зёрен и по трещинам развивается хроммагнетит (рис. 4.21).

Группа минералов из этого семейства обладают схожими физическими свойствами. Минералы непрозрачные и имеют железо-черный цвет. Блеск от металлического до жирного. Цвет черты темно-бурый. На свежем сколе можно наблюдать неровный излом и редко в тонких сколах частично просвечивает. Обладает слабыми магнитными свойствами, иногда едва уловимыми.

По химическому составу хромшпинелиды соответствуют алюмохромитам (Павлов, 1949). В части минералов фиксируется наличие небольшого количества ZnO (табл. 4.4).

Таблица 4.4. Химический состав хромшпинелидов в серпентинитах Новотемирского рудника

Минерал	№ обр.	№ анализа	Содержание, мас. %							Сумма, %
			Cr ₂ O ₃	FeO	V ₂ O ₅	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	ZnO	
Хромит	105-1	19279b	65.3	31.55	0.52	0.59	1.22	-	0.65	99.82
Хромшпинелид	105-1	19279c	59.36	23.71	0.46	0.69	6.29	8.94	-	99.45
	104-1	19281c	47.57	22.14	0.25	0.63	7.91	19.96	0.67	99.13

Примечание: анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе TescanVega 3. Аналитик Блинов И.А. Прочерк – не обнаружено.

Халькопирит $CuFeS_2$ встречается в виде отдельных реликтовых зёрен и небольших прожилков мощностью 1–2 мм преимущественно в родингитах. В серпентинитах халькопирит практически не сохранился. Минерал в значительной мере корродирован и замещен по периферии лимонитом с хризоколлой (см. рис. 4.17) или образует изометричные включения размером до 30–50 мкм в магнетите (рис. 4.22, 4.23).

Цвет халькопирита латунно-желтый, и буровато-желтый. Нередко встречается пестрая побежалость. Иногда на поверхности зерен можно заметить слабую штриховку. Минерал непрозрачный, обладает сильным металлическим блеском. Черта – черная с зеленоватым оттенком. На свежем сколе образует раковистый излом.

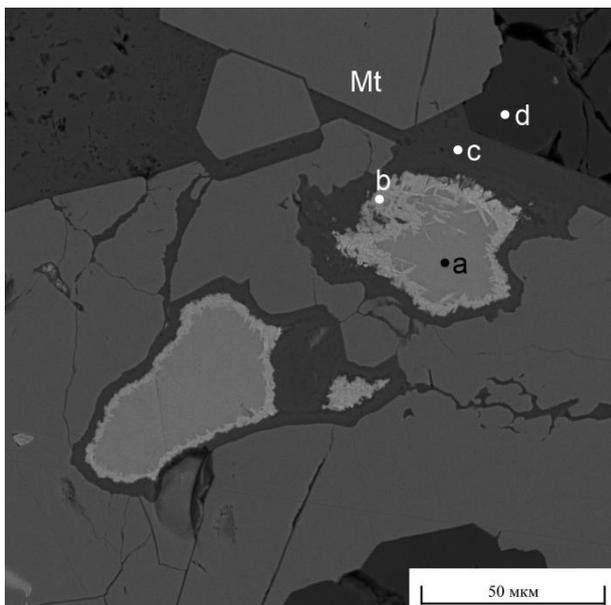


Рис. 4.22. Фото СЭМ (обр. 103-7). Развитие ковеллиной каймы (b – светло-серое) по зернам халькопирита (a – серое). Образование лимонита (c – темно-серое) по халькопириту в магнетит-гранатовых сростках (c и d соответственно).

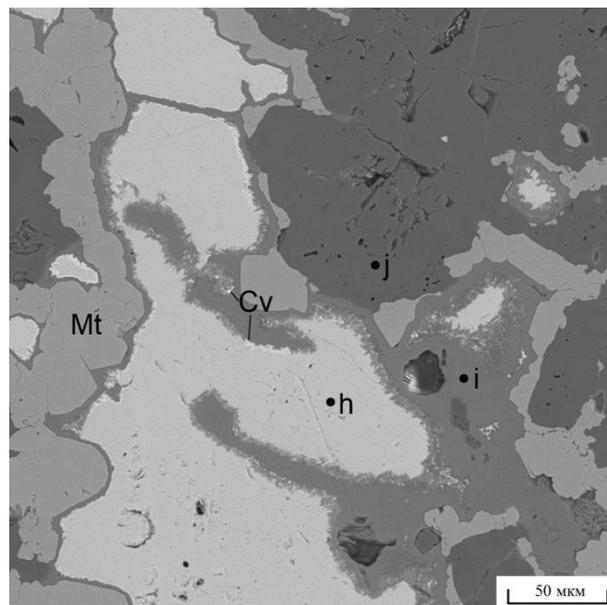


Рис. 4.23. Фото СЭМ (обр. 103-6). Сростки магнетита (Mt – серое) с реликтовыми зернами халькопирита (h – светло-серое) с ковеллиновой каймой (Cv), в лимоните (i – серое). В гранатовой матрице (j – темно-серое).

Состав халькопирита близок к стехиометрическому и соответствует (мас. %): Cu 33,54–34,48; Fe 29,99–32,28; S 33,55–34,99 (табл. 4.5).

Таблица 4.5. Состав сульфидов меди из родингитов и серпентинитов Новотемирского рудника

Минерал	№ обр.	№ анализа	Содержание, мас. %			Сумма, %
			Cu	Fe	S	
Халькопирит	103-6	19273e	33.54	32.28	33.55	99.36
	103-6	19273f	34.27	30.94	34.83	100.05
	103-6	19273h	34.07	30.31	34.99	99.37
	103-7	19274a	34.48	29.99	34.96	99.43
Ковеллин	103-6	19273k	65.95	4.32	29.35	99.62
Халькозин	103-6	19273l	72.78	4.37	23.71	100.86

Примечание: анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3. Аналитик Блинов И.А.

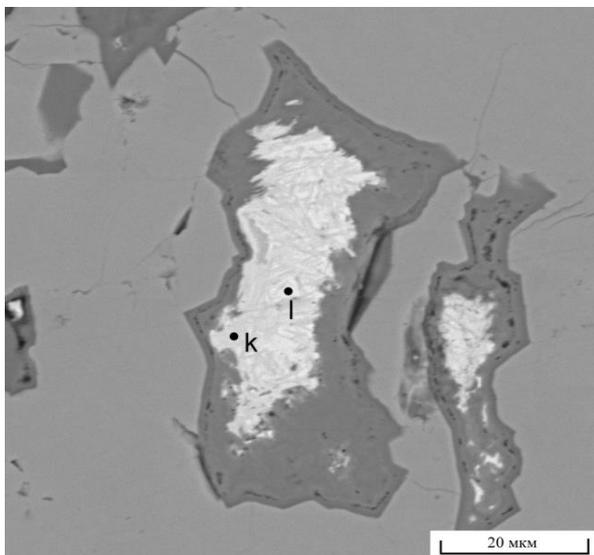


Рис. 4.24. Фото СЭМ (обр. 103-6). Зерна ковеллина (l – белое) и халькозина (k – серое) с лимонитовой рубашкой в андрадите.

По зернам халькопирита интенсивно развиваются **ковеллин** CuS и **халькозин** Cu_2S , образуя на периферии зерен тонкую каемку, совместно с лимонитом (рис. 4.24), или отдельные редкие зерна поперечником до 10–15 мкм. Минералы содержат примесь железа.

Барит $BaSO_4$ встречается в виде отдельных изометричных или слегка вытянутых кристаллов и их скопления размером 40–60 мкм в буро-железистых агрегатах. Также можно обнаружить выделения тонкие барита и хризоколлы на корродированных зернах магнетита и в виде вытянутых корок на зернах граната (рис.4.25).

В чистом виде бесцветный и прозрачный, но обычно окрашен примесями оксидов железа и другими, поэтому имеет самые разные цвета. Блеск стеклянный. Цвет черты белый. Прозрачный минерал, ав тонких сколах просвечивающий. Твердость от 3 до 3,5. Химический состав барита $BaO - 65.25; SO_3 - 34.56$. Также отмечается незначительная примесь Sr, Fe, Ca (рис. 4.26).

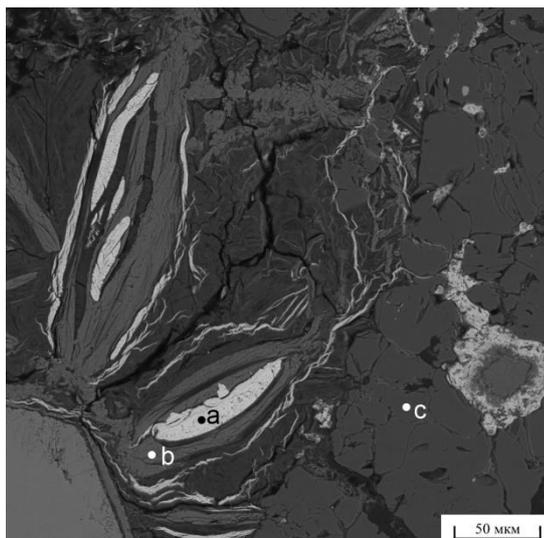


Рис.4.25. Барит (а – светло-серое) малахитовые (b –серое) лимонитовые (темно-серое) корки на зернах граната (с – серое) (обр. 103-1).

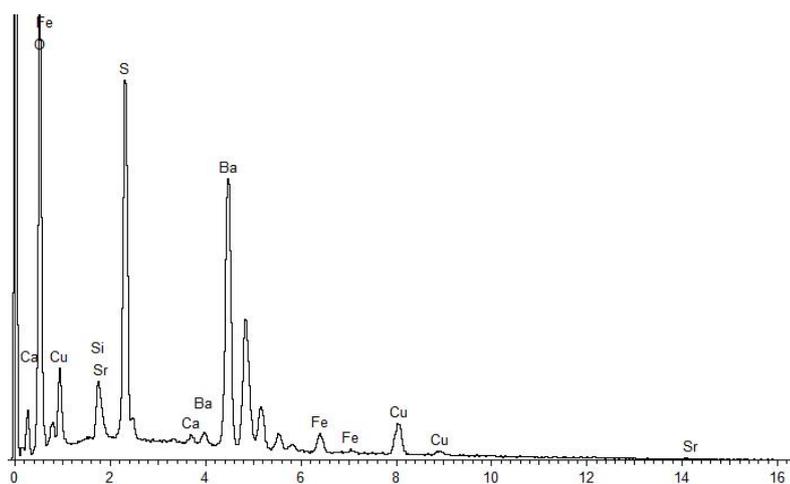


Рис. 4.26. Энергодисперсионный спектр барита в точке а.

4.2.3. Акцессорная минерализация

В исследованиях И.А. Блинова и др. (2018) приводятся данные по определению акцессорной минерализации руд Новотемирского медно-магнетитового проявления. Им были выявлены следующие образования, которые в большинстве случаев диагностировались по ЭДС:

Борнит Cu_5FeS_4 образует редкие изометричные и каплевидные включения размером до 20–30 мкм в магнетите. Также встречено единичное зерно халькопирита и борнита со структурой распада.

Никелин $NiAs$ образует редкими изометричными включениями размером 2–3 мкм в магнетите и андрадите из родингита.

Арсениды Ni (**орселит** Ni_3As_2 и **маухерит** $Ni_{11}As_8$) представлены в виде единичных вытянутых агрегатов размером 3–4 мкм и обнаружены в магнетите и андрадите. Химический состав орселита и маухерита предельно схож, но значительно отличается по процентному содержанию элементов и примесей (мас.%): орселит Ni–60.94; As– 37.18; Fe и Cu– до 1.3. Для маухерита Ni–43.85; As– 48.91; Fe– до 2.5 и Co– до 5 (Блинов и др., 2018).

Кобальтин $CoAsS$ имеет вид слегка вытянутых индивидов размером 3–5 (реже 10) мкм и обнаружен в родингите. В магнетите представлен как включения, но также найден каплевидный двухфазный кристаллоподобный агрегат размером 4,5 мкм в поперечнике, в котором кобальтин окаймляет никелин. Химический состав минерала (мас.%): Co 28.62–32.66; As 44.15–46.99; S 18.31–18.68. Присутствует примеси Fe до 4 мас.% и Ni до 3 мас.% (Блинов и др., 2018).

Пентландит $(Fe, Ni)_9S_8$ образует изометричные включения размером до 1–2 мм с корродированной и изъеденной поверхностью в выветрелых рудах. Химический состав варьирует в пределах (мас.%): Fe 28.82–35.44; Ni 29.03–35.04; S 32.81–33.35. В качестве примеси минерал содержит Co в пределах 1.53 до 3,6. (Блинов и др., 2018).

Кобальтпентландит Co_9S_8 обнаружен как единичное субизометричное включение размером около 7 мкм в магнетите. Для кобальтпентландита содержания значительно отличаются от пентландита и составляет: Co–36.23, S–31.31, Fe–16.75 и с примесью Ni до 16 мас.% (Блинов, 2018).

Делафоссит $FeCuO_2$ установлен в бурых железняках И.А. Блиновым (единичная находка). Зерно размером около 10 мкм имеет диффузную границу с гидроксидами, что свидетельствует о его замещении. Гидроксиды железа содержат примесь CuO. На поверхности агрегат покрыт хризоколлой. Там же было обнаружено зерно **акантита** Ag_2S размером около 1 мкм субмикронные включения **йодаргирита** (AgI), определённого по ЭДС.

Для Новотемирского рудника также были найдены с помощью анализов, впервые встречающиеся на этом проявлении, новые минералы разных классов и выявлены следующие новые соединения.

Самородный висмут Bi и **платина** Pt встречаются в рудах родингитов. Висмут представлен в виде включений в хромшпинелидах или в ассоциации с ними (рис. 4.27). Платина образует мелкие зерна или срастания зерен, а также отмечается развитие по трещинам (рис. 4.28).

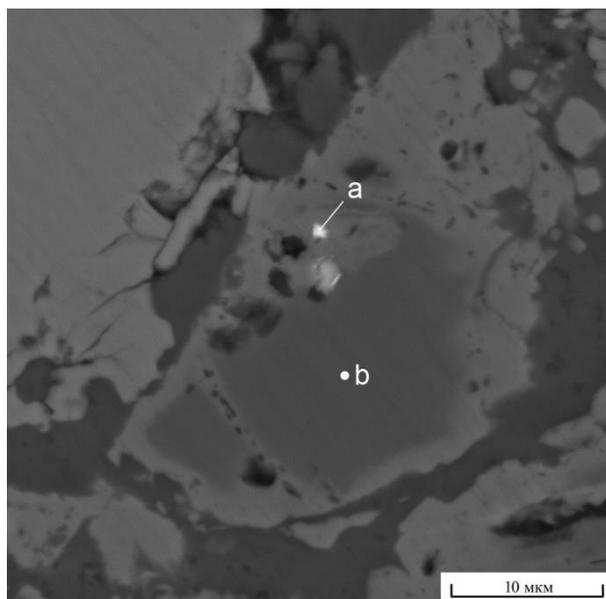


Рис. 4.27. Фото СЭМ (обр. 104-1). Мелкое включение самородного висмута (а – белое) в магнетитовой каемке (серое) по хромшпинелиду

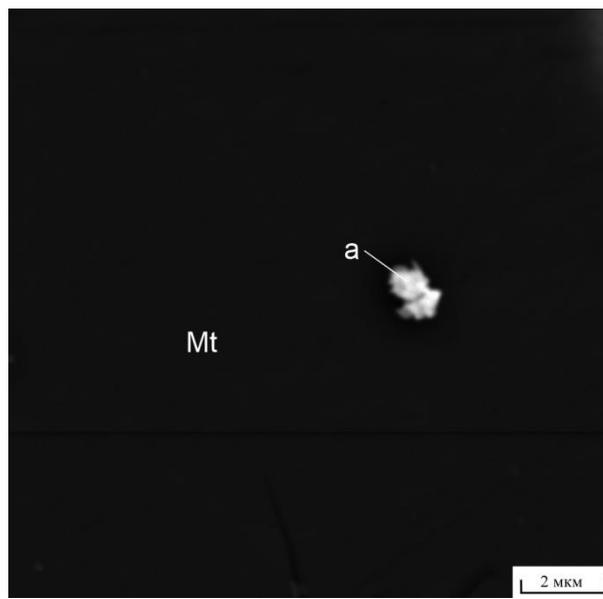


Рис. 4.28. Фото СЭМ (обр. 104-1). Мелкие зерна самородной платины (а – светло-серое) в магнетите (Mt –серое)

Оба минерала были диагностированы по результатам ЭДС. В висмуте отмечается небольшое количество примесей Cr, Ag, Fe. В платине также находится небольшое количество примеси Ca, Rh, Fe.

Кубанит $CuFe_2S_3$ (впервые диагностирован для данного рудопроявления). Минерал установлен в родингитах и образует единичные мелкие зерна размером до 5 мкм (рис. 4.29). Встречается также как включение в гипидиоморфных зернах граната. По данным микрозондового анализа в кубаните содержится (мас.%): Cu–24.05; Fe–40.02; S–35.33. В минерале установлена примесь Co до 0.7 мас.%.

Алтаит $PbTe$ (ранее был неизвестен на Новотемирском руднике). Он образует вроски и включения в магнетитовой массе размером до 10 мкм в рудной минерализации по родингиту (рис. 4.30). По содержанию минерал характерен набору Pb–62.49, Te–38.29. Примесей найдено не было.

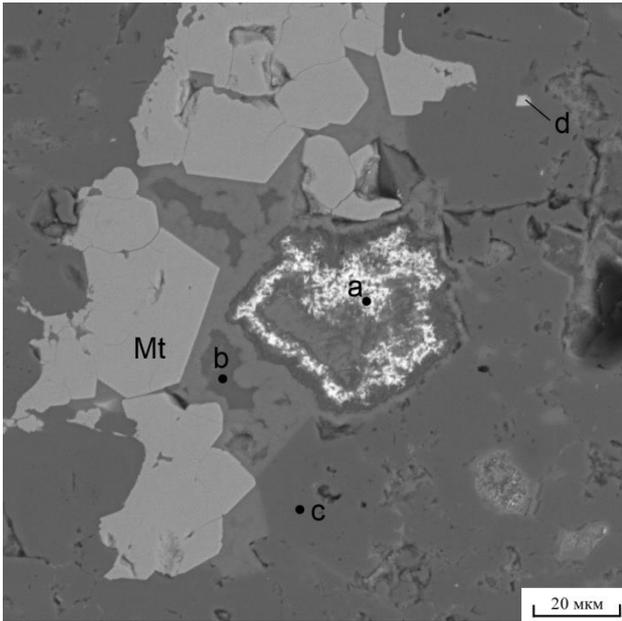


Рис. 4.29. Фото СЭМ (обр. 103-6). Мелкие зерна кубанита (d) в родингите. Буквами на рисунке обозначены: барит (a), хризоколла (b), гранат (c), магнетит (Mt).

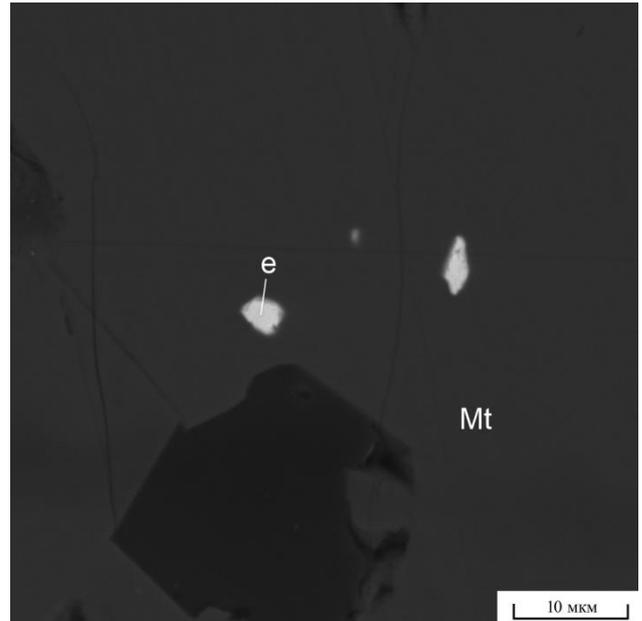


Рис. 4.30. Фото СЭМ (обр. 103-7). Вростки мелких гипидиоморфных зерен алтаита (e – светло-серое) в магнетите (Mt – серое). Темно-серое – гранат.

Манганоильменит $FeTiO_3$ (первая находка для данного рудопроявления). Обнаружен в небольшом количестве в родингитоподобном метасоматите. Минерал образует одиночные деформированные кристаллы пластинчатого облика, иногда немного удлинённые, размером до 0,2 мм. Химический состав близок к теоретическому (мас. %): TiO_2 – 53.88; FeO – 41.48; MnO – 4.96. На периферии по трещинам манганоильменит интенсивно замещается **титанитом (сфеном)** $CaTiSiO_5$ (рис. 4.31). В составе титанита присутствуют (мас. %): SiO_2 –31.39, TiO_2 –31.58; CaO–29.40. Также в минерале фиксируются примеси Al_2O_3 до 4,7 мас.% и FeO до 1,3 мас.%.

Апатит $Ca_{10}(PO_4)_6(OH,F,Cl)_2$ представлен редкими изометричными зёрнами размером до 3–5 мкм или образует раздробленные столбчатые кристаллы в родингитоподобном метасоматите (рис. 4.32). Минерал желтоватого цвета, полупрозрачный с жирным или стекляннным блеском. Цвет черты встречается от белого до желтовато-серого. Твердость до 5. Химический состав апатита может меняться даже в пределах одного образца (табл. 4.6).

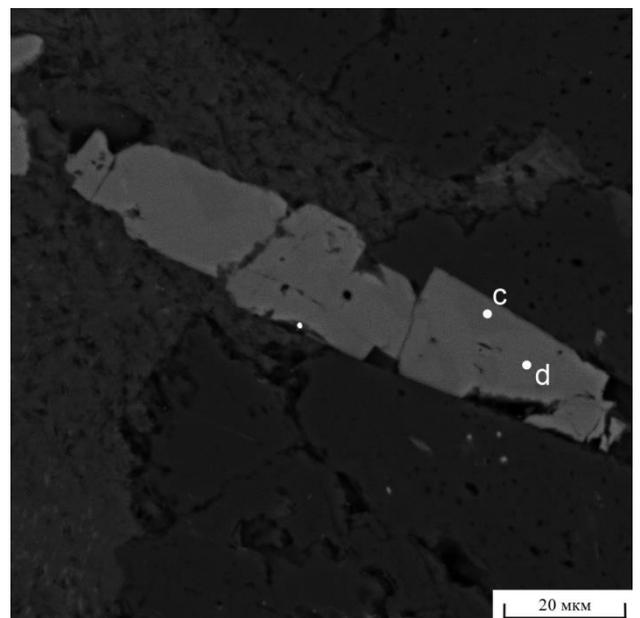
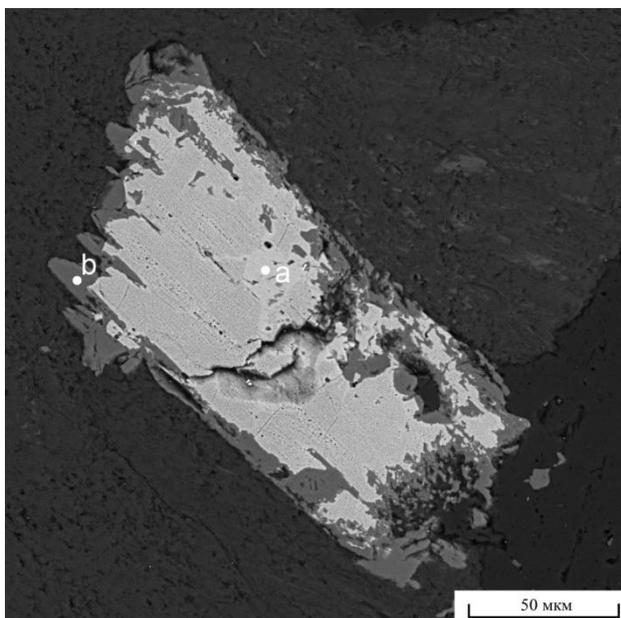


Рис. 4.31. Фото СЭМ (обр. 102-2). Развитие титанита-сфена (b– серое) по пластинчатому кристаллу манганоильменита (a – светло-серое).

Рис. 4.32. Фото СЭМ (обр. 103-3). Раздробленный кристалл апатита.

Таблица 4.6 Химический состав апатита из родингита Новотемирского рудника

Минерал	№ анализа	Содержание, мас. %						Сумма, %
		CaO	P ₂ O ₅	F	Cl	FeO	SiO ₂	
Апатит	19272c	55.53	42.06	1.66	0.23	-	-	99.48
	19272d	54.51	41.95	1.75	1.31	0.59	0.52	100.64

Примечание: анализы выполнены на сканирующем электронном микроскопе TescanVega 3. Аналитик Блинов И.А. Прочерк – не обнаружено.

Андрадит $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$ представлен идиоморфными кристаллами, также встречается как гипидиоморфные зерна в родингитах, редко во вмещающих серпентинитах. Иногда образует сростки с магнетитом или нарастает на кварце (рис. 4.33).

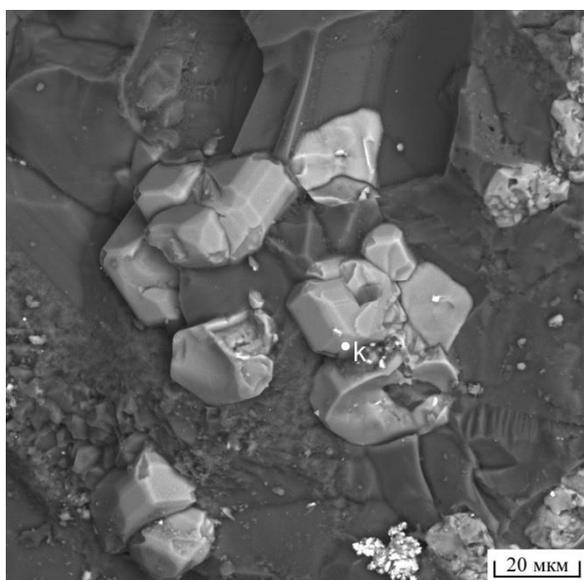


Рис. 4.33. Фото СЭМ (обр. 103-3-15). Наросты кристаллов граната на кварце.

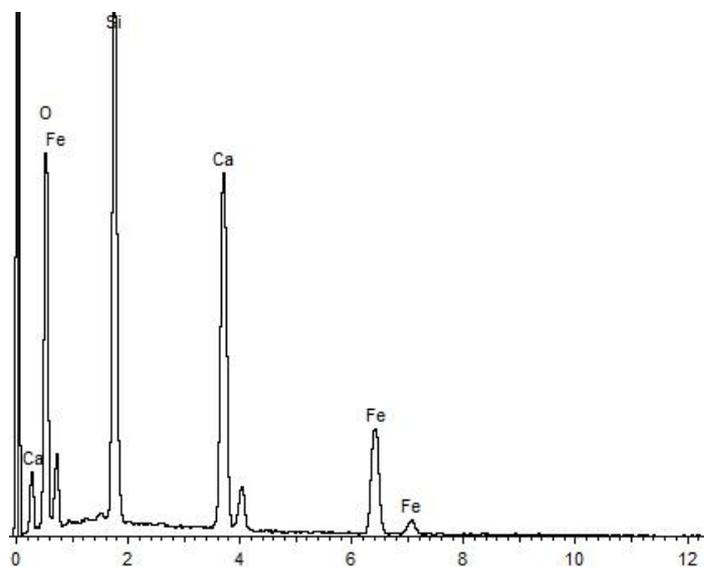


Рис.4.34. ЭДС граната в точке к.

Химический состав минерала в разных образцах приблизительно одинаковый и соответствует группе андрадита (мас. %): CaO 33.55–34.26; FeO 27.43–29.92; SiO₂ 35.95–37.30. В некоторых случаях содержит незначительную примесь Al₂O₃ (см. табл. 4.2, рис. 4.34).

Карбонаты: доломит $(Ca,Mg)[CO_3]$, магнезит $MgCO_3$ образуют в серпентинитах и родингитах тонкие прожилки до 0,4 мм. В шлихе представлены обломками в виде мелкозернистых плотных агрегатов с раковистым изломом (рис. 4.35). Были диагностированы по ЭДС и рентгенофазовому анализу.

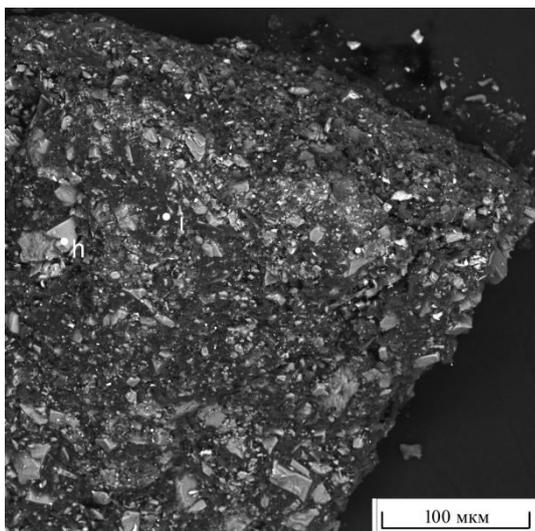


Рис. 4.35. Выделения мелких кристаллов доломита (h – светло-серое) в мелкозернистом матриксе магнезита (i – темно-серое).

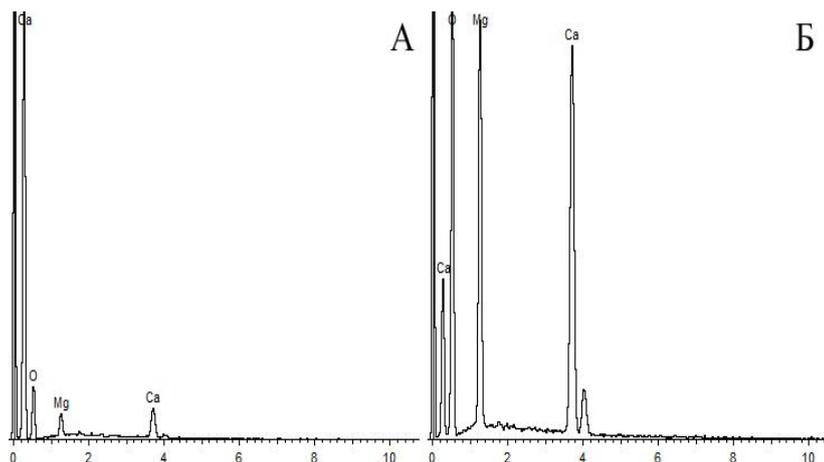


Рис. 4.36. ЭДС карбонатов в точке i и h.

Цвет молочно-белый, иногда с голубоватым и зеленоватым оттенком. Минерал полупрозрачен со стекляннм блеском. С соляной кислотой (HCl) взаимодействует слабо, с выделением газа CO₂.

По химическому составу соответствует доломиту и магнезиту. Содержания CaO и MgO часто колеблются в небольших пределах (рис. 4.36).

Таким образом, минералогия руд Новотемирского рудника представлена достаточно широко. Здесь обнаружены и описаны минералы нескольких минералогических групп: самородные элементы, сульфиды, окислы и гидроксиды, сульфаты, карбонаты, силикаты, арсенаты, теллуриды, йодаты. В зоне окисления основными компонентами медной минерализации являются малахит, азурит и хризоколлa. Кроме того, медь частично сорбируется на гидроксидах железа и в слоистых силикатах. Важнейшим отличительным признаком руд Новотемирского месторождения, разрабатываемых в древности, является наличие в них хромшпинелидов – минералов, хорошо сохраняющихся в древних металлургических шлаках и являющихся характерными для редкого типа медных месторождениях, расположенных в серпентинитах. Окисленные руды содержат в себе незначительные концентрации хрома и никеля, но приоритетными являются содержания меди и железа, характерные для данного типа месторождения. Кроме того, в них содержатся минеральные включения определяющие примесь мышьяка и никеля, которые дают естественные легирующие добавки в выплавляемых древними обществами бронзах. Второстепенные рудные минералы характеризуются магнетитом и халькопиритом, в редких случаях может встречаться пирит и хромит. Аксессуарная минерализация представлена довольно разнообразно. Впервые были диагностированы такие аксессуарные минералы как: самородный висмут и платина, ильменит, сфен (титанит), кубанит, алтаит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новотемирское медно-магнетитовое рудопроявление приурочено к зоне контакта апонеридотитовых серпентинитов с дайкой родингитов. Серпентиниты встречаются по периферии карьера в северо-восточном и в северо-западном борту, а родингиты занимают его южную часть. Серпентиниты в основном сложены минералами группы серпентина (антигоритом, реже хризотилом) и доломитом. Породы подвержены процессам хлоритизации и оталькованию. Родингиты характеризуются более сложным составом, в котором преобладает гранат (гроссуляр-андрадитового ряда, с резким преобладанием андрадитового минерала и пироксены при небольшом содержании хлорита. Их образование сопровождалось процессами пренитизации, эпидотизации и, в небольшом количестве, амфиболитизации. В породах развита метасоматическая зональность, по наличию граната четко выделяется внешняя и внутренняя зоны колонки.

Новотемирский рудник в древности являлся объектом добычи двух типов медных руд: апосерпентинитовых и апородингитовых. На Урале известен только один древний рудник, где разрабатывались, медные руды подобного типа – это Воровская яма, расположенная в 150 км на запад (Зайков и др., 2014). Как и там, на Новотемирском руднике разрабатывались только приповерхностные медные руды из зоны окисления. В минеральном составе руд преобладали малахит, азурит и хризоколла, которые были образованы в результате окисления первичных сульфидов меди – в основном халькопирита. Среднее содержание меди в добываемом сырье варьировало от 3 до 7 %, однако после предварительного механического обогащения (отбивка, обколка наиболее ценного материала на специальных площадках) концентрация меди достигала до 20 %.

Руды содержат большое количество аксессуариев (в том числе арсенаты), что определяет их геохимическую специализацию.

Важнейшим отличительным признаком руд Новотемирского месторождения, является наличие в них хромшпинелидов, являющихся хорошим минералогическим маркером для медных месторождений, расположенных в серпентинитах. Присутствие данных минералов характерно для древних металлургических шлаков синташтинского времени (Григорьев, 1999) – периода в котором как раз происходил первый этап эксплуатации рудника. Ближайшим крупным населенным пунктом того времени, где происходила металлургическая переработка руд является укрепленное поселение Устье. Оно находится в 50 км юго-западнее от Новотемировки. На этом поселении Н.Б. Виноградовым была собрана большая коллекция руд и металлургических шлаков, анализ которых подтвердил наличие в них хромшпинелидов, а в металле примеси мышьяка и никеля (Блинов и др., 2018). С большой долей вероятности можно предположить, что Новотемирский рудник являлся рудной базой поселения Устье и разрабатывался его горняками.

По результатам проведенных работ на Новотемирском руднике автором впервые были каталогизированы минералы окисленных руд, а так же диагностированы неизвестные ранее для данного объекта минеральные фазы: самородный висмут, платина, манганоильменит, сфен, алтаит, и кубанит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная литература

1. Алаева, И.П., Медведева, П.С., Анкушев, М.Н. Шахта раннего железного века на древнем руднике Новотемирский / Этнические взаимодействия на Южном Урале. Сарматы и их окружение.// И.П. Алаева – Материалы VII Всероссийской научной конференции. Челябинск: Государственный исторический музей Южного Урала, 2017. – С. 7–13.
2. Бердюгин, Ю.П., Малолетко, И.Г., Денисов, В.Г. и др. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000, лист N-41-X1X. Объяснительная записка./ под ред. И. Д. Соболев – Уралгеология, Св., 1986.
3. Блинов, И.А., Анкушев, М.Н., Рассомахин, М.А., Медведева, П.С. Минералы меди, никеля и мышьяка в рудах Новотемирского проявления железа (Южный Урал)/ И.А. Блинов – Минералогия, 2018 – С.36-45.
4. Григорьев, С.А. Древние индоевропейцы: Опыт исторической реконструкции./ С.А. Григорьев – Челябинск: Рифей, 1999 – 444 с.
5. Зайков, В.В., Юминов, А.М., Зданович, Г.Б., Носкевич, В.В. Древние медные рудники в гипербазитах Южного Урала (на примере археологического памятника Воронская Яма) Геоархеология и археологическая минералогия–2014. Научное издание. / В.В. Зайков – Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2014. – 176 с
6. Медведева, П.С., Алаева, И.П., Леханова, Л.Н. Анкушев, М.Н. Междисциплинарные методы исследования в решении проблемы датировки горных выработок (на примере рудника Новотемирский в Южном Зауралье //Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия./ П.С. Медведева – М.: Товарищество научных изданий КМК. 2018. – С. 111–117
7. Петренко, А.А. Нижнекаменноугольные месторождения каменных углей и антрацитов Южного Урала – Тр. ИГН АН СССР, в. 79. М., 1946. – 178 с.
8. Шильников, Д.А. Очерк медных месторождений на Южном Урале, в бывшем Троицком округе Уральской обл.– 1932.
9. Юминов, А. М., Зайков, В.В., Коробков, В.Ф., Ткачев, В.В. Добыча медных руд в бронзовом веке в Мугоджарах// Археология, этнография и антропология Евразии. – 2013. – № 3 (55). – С. 87–96.
10. Юминов, А.М., Анкушев, М.Н., Рассомахин, М.А. Древний медный рудник Новотемирский (Южный Урал) // Геоархеология и археологическая минералогия – 2015. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2015. – С. 78–81.

Фондовая литература

1. Артемов, В.С. и др. Отчет о поисковых работах на хризотил-асбест на Успенском, Татищевском и др. массивах./ В.С. Артемов – Св., 1955.
2. Бабкин, В.В., Шалагинов, Э.В. и др. Отчет о результатах геолого-съемочных работ на площади планшетов N-40-84-Б, N-41-61-В и -73-А./ В.В. Бабкин – УГУ. Ч., 1971.
3. Булыкин, Л.Д., Ланцова, В.Н.. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист N-41-X1X. Серия Южно-Уральская./ под ред. Соболев И.Д – Св., 1962.
4. Букина, М.Н., Глушкова, Г.А. Предварительный отчет по геолого-поисковым работам в масштабе 1:50 000 (N-40-96-Б и N-41-85-А) за 1952-1953 гг./ М.Н. Булкина – УГУ. Св., 1953.
5. Государственная гравиметрическая карта РФ масштаба 1:200 000 (N-41-X1X), третье издание. Материалы. Урал геология. Баженовская ГФЭ. Пос. Шеелит, 1999.
6. Курбежеков, П.М., Турбанов В.Ф., и др. Отчет о результатах геологосъемочных работ на территории планшетов N-41-86-В и -98-А за 1960 г./П. М. Курбежеков – УГУ. Ч., – 1963.
7. Мосейчук, В.М. и др. Материалы к отчету: "Геологическое строение и полезные ископаемые территории листа N-40-XXIV. (Госгеолкарта м-ба 1:200 000, изд. 2-е)"/ В.М.

Мосейчук – Ч., 2000.

8. Пискунов, Ф.А., Янкелевич, В.А. и др. Отчет о результатах геолого-съёмочных работ масштаба 1:50 000. Листы N-41-74-Г и N-41-75-В. /Ф.А. Пискунов – УГУ. Ч., 1966.

9. Тевелев, А.В. и др. Материалы к отчету: Геологическое строение и полезные ископаемые территории листа N-41-XIX. (Госгеолкарта масштаба 1:200 000)./ А.В. Тевелев – МГУ. М., – 2000.

10. Шагина, Р.Н., Батанин, А.И. и др. Геологическая карта масштаба 1: 50 000, листы N-41-74-А,В, -85-Б,Г, -86-А ./ Р.Н. Шагина – УГУ. Ч., 1965.

11. Янкелевич, Б.А., Иванов, В.Ф. и др. Отчет по поисковым работам на железные руды и составлению макета геологической карты масштаба 1:50 000 на территории планшетов N-41-74-Г (в. п.), -75-В, -86-Б (в. п.) и -Г, -87-А, В (з. п.)./ Б.А. Янкелевич – УГУ. Ч., 1975.