

На правах рукописи

НОВАКОВ Роман Михайлович

**ПЕРСПЕКТИВЫ НИКЕЛЕННОСТИ
ПЛУТОНИЧЕСКИХ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ
ФОРМАЦИЙ КАМЧАТКИ**

**Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Научно-исследовательском геотехнологическом центре Дальневосточного отделения Российской академии наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Степанов Виталий Алексеевич

Официальные оппоненты:

Стриха Василий Егорович, доктор геолого-минералогических наук, акционерное общество «Дальневосточное ПГО» (Росгеология), директор

Смолькин Валерий Федорович, доктор геолого-минералогических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина Дальневосточного отделения РАН

Защита диссертации состоится 20 июня 2018г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.224.01 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, аудитория 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт - Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 20 апреля 2018 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета

Кириякова
Ирина Геннадьевна

Общая характеристика работы

Актуальность исследований. Основой минерально-сырьевой базы никеля в Камчатском крае являются богатые сульфидные кобальт-медно-никелевые руды разрабатываемого Шанучского месторождения, которое, наряду с другими рудопроявлениями никеля в пределах Камчатского срединного массива (КСМ), связано с интрузиями норит-кортландитовой формации или формации роговообманковых базитов (Зимин, 1973).

Развитие горнорудной промышленности в регионе, уменьшение балансовых запасов, изменение кондиций минерального сырья, совершенствование технологий извлечения полезных компонентов – все это требует новых подходов при выделении перспективных площадей для поисков никелевых месторождений, в том числе и нетрадиционных для региона типов.

Помимо объектов медно-никелевой рудной формации, связанной с норит-кортландитовыми интрузиями, на Камчатке отмечены рудопроявления никеля и пункты никелевой минерализации в телах дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой плутонических формаций (классификация ВСЕГЕИ, Геологический словарь, 2010). Представляется актуальным изучение закономерностей формирования никелевых и никельсодержащих руд, а также никелевой минерализации, связанных с образованиями различной формационной принадлежности. Путем сравнительного анализа, проведенного на основе больших массивов информации по геохимии, минералогии и петрографии могут быть получены новые данные о рудогенезе и перспективах никеленосности образований норит-кортландитовой, дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой плутонических формаций Камчатки, обоснованы дополнительные критерии поиска и выделения никеленосных объектов.

Степень разработанности исследуемого направления. Геология, геохимия, минералогия, процессы рудообразования и геофизические особенности массивов никеленосной норит-кортландитовой формации Камчатки известны благодаря работам А.И. Байкова, А.С. Гумовского, Л.Н. Гриненко, Б.М. Дзюбы, И.В. Евтихова, С.С. Зимина, В.П. Зотова, Е.К. Игнатьева, Э.Г. Конникова, Г.В. Кувакина, В.Е. Кунгуровой, Г.В. Лашинского, В.Н. Лукьянова, Б.А. Марковского, А.Г. Милютина, С.Д. Минеева, В.М. Округина, В.А. Полетаева, О.Б. Селягина, М.Д. Сидорова, Б.И. Сляднева, Г.Н.

Старкова, В.А. Степанова, И.А. Тарарина, Ю.П. Трухина, В.М. Чубарова, В.Н. Шаповаленко, С.А. Щеки.

Целью работы является исследование особенностей формирования никелевой минерализации и рудогенеза в плутонических мафит-ультрамафитовых формациях Камчатки, выявление критериев рудоносности и оценка перспектив никеленосности территории с учетом разнообразия проявленных здесь типов син- и эпигенетической никелевой минерализации.

Основные задачи исследований:

- Изучение распределения Ni в рудах, породах, рудных и породообразующих минералах норит-кортландитовой, дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой плутонических формаций Камчатки.

- Исследование особенностей никелевой минерализации месторождений и рудопроявлений Камчатки различной формационной принадлежности на примере отдельных объектов норит-кортландитовой формации (рудного тела № 1 Шанучского месторождения, участка Восточно-Геофизического Шанучского рудного поля, Кувалорогского массива, рудопроявления Аннабергитовая Щель) и дунит-гарцбургит-габбровой формации (оливиновых вебстеритов с медно-никелевыми сульфидами из массива гипербазитов г. Солдатской на п-ове Камчатский Мыс, аваруитовой минерализации в серпентинитах того же массива).

- Сравнительный анализ никелевых и никельсодержащих руд, различных типов никелевой минерализации в связи с их принадлежностью к определенным мафит-ультрамафитовым плутоническим формациям региона.

- Поиск аналогов проявлений медноколчеданных руд с никелевой и кобальтовой минерализацией в блоках гипербазитов из зон серпентинитового меланжа Восточной Камчатки (рудопроявления Маркеловское и Монолитное на о-ве Карагинском, а также Рыцарь на п-ове Озерном).

Фактический материал, методы исследований, личный вклад автора. В основу диссертации положены материалы, собранные в период с 1993 по 2012 год при выполнении поисково-съёмочных работ и научных исследований, в которых автор принимал непосредственное участие, а также результаты анализа и обобщения геологической документации, аналитические данные, как собственные, так и

заимствованные из геологической литературы. В процессе подготовки диссертации были изучены образцы коллекции руд и пород из никеленосных объектов Камчатского региона, хранящейся в НИГТЦ ДВО РАН, исследованы 189 шлифов, 50 аншлифов, обработано 1333 количественных анализов руд и пород, 1163 микрозондовых анализов. На основе собственных и опубликованных в геологической литературе данных автором разработана электронная база данных и интерфейс. Автором проанализирован обширный материал по металлогении никеля Камчатки, прослежены отдельные эмпирические закономерности его геохимии в регионе, сформулированы дополнительные критерии поиска никеленосных интрузий, исследованы особенности геологии, геохимии, минералогии никелевых рудопроявлений, процессы и условия их образования, рассмотрены объекты-аналоги.

Выполненная работа основана на формационном подходе, геохимических, металлогенических и минералогических исследованиях. Оценены и сопоставлены между собой содержания Ni, сопутствующих Cu и Co в рудах и магматических породах, рудных и породообразующих минералах плутонических мафит-ультрамафитовых формаций региона. На примере объектов Шанучского рудного поля, рудопроявлений Кувалорогского массива и его обрамления (Аннабергитовая Щель), сульфидной и самородной никелевой минерализации из массива гипербазитов г. Солдатской на п-ове Камчатский Мыс изучена минералогия рудных минеральных ассоциаций различной формационной принадлежности. Методом сравнительного анализа обоснованы объекты-аналоги никель-кобальтсодержащих медноколчеданных руд Восточной Камчатки.

Содержания Ni, Cu и Co в рудах и породах определялись методами ICP-MS на приборах Agilent 7500с в ДВГИ ДВО РАН и Elan 6100 DRC в ИМГРЭ; ICP-AES на ICAP-9000 в ГЕОХИ РАН; атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Shumadzu AA-6300» в НИГТЦ ДВО РАН; на рентгенофлуоресцентных спектрометрах S4 PIONEER в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН и в ДВГИ ДВО РАН. Химические составы минералов исследованы в ИВиС ДВО РАН с использованием рентгеноспектрального микроанализатора «Camebax-244» и SEM Tescan Vega 3. Часть исследований выполнена в ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 и SEM EVO 50XVP, а также в ИЭМ РАН на SEM CamScan MV2300.

Научная новизна. В процессе подготовки диссертации на основе опубликованных и собственных данных, а также материалов из территориальных фондов геологической информации, сформирована реляционная база данных, которая содержит описания 1647 шлифов, 2121 количественный анализ руд и пород и 4201 микрозондовый анализ рудных и породообразующих минералов вулканических и plutонических мафит-ультрамафитовых комплексов Камчатки различной формационной принадлежности.

Прослежены эмпирические закономерности распределения и соотношений Ni, Co и Cu в породах мафит-ультрамафитовых plutонических формаций Камчатки. Для пород дунит-клинопироксенит-габбровой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций установлено снижение концентраций Ni и Co и возрастание содержаний Cu с уменьшением их основности и магнезиальности. Для пород никеленосной норит-кортландитовой формации характерно снижение концентраций всех трех элементов. Проведен сравнительный анализ новых данных о содержании Ni в рудных и породообразующих минералах из массивов различной формационной принадлежности и установлены их особенности.

В результате микроскопических исследований в кобальт-медно-никелевых рудах проявления Аннабергитовая Щель норит-кортландитовой формации выявлено перераспределение рудного вещества, вызванное контактово-метасоматическими преобразованиями при внедрении пострудных гранитоидов.

При изучении сульфидно-самородной медно-никелевой минерализации в оливиновых вебстеритах дунит-гарцбургит-габбровой формации на п-ове Камчатский Мыс выделены ранее неизвестные здесь магматогенные минеральные ассоциации, представленные преимущественно пентландитом и медно-никелевыми сульфидами, а также аваруитом, самородной и платинистой медью, халькогенидами с теллуrom, висмутом и палладием.

Проведено сопоставление проявлений медноколчеданных руд с никелевой и кобальтовой минерализацией в блоках гипербазитов из зон серпентинитового меланжа Восточной Камчатки с объектами-аналогами – Ивановским и Ишкининским рудопроявлениями на Южном Урале с использованием данных о геологическом строении, параметрах рудных тел, минеральном и химическом составе руд,

характере рудных и пострудных изменений рудовмещающих образований.

Защищаемые положения:

1. Отличительной особенностью никеленосной норит-кортландитовой формации Камчатки в сравнении с дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой является снижение средних содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта с уменьшением основности и магнезиальности в ряду безрудных разностей пород, что обусловлено выделением сульфидов на магматическом этапе рудообразования.

2. Минеральные ассоциации, текстуры и структуры кобальт-медно-никелевых руд, связанных с массивами норит-кортландитовой формации, указывают на участие в рудогенезе магматических, гидротермальных и контактово-метасоматических процессов.

3. Формирование никелевой минерализации в образованиях дунит-гарцбургит-габбровой формации Камчатки связано с магматическими и гидротермально-метасоматическими процессами. Аналогами эпигенетических никель-кобальтсодержащих медноколчеданных руд в блоках гипербазитов из зон серпентинитового меланжа Восточной Камчатки являются Ивановское и Ишкининское рудопоявления на Южном Урале, приуроченные к телам серпентинитов в зоне Главного Уральского разлома.

Практическая значимость. Тематическая реляционная база данных (БД), содержащая результаты аналитических исследований по геохимии, минералогии и петрографии плутонических и вулканических комплексов Камчатки, с которыми связана рудная и нерудная никелевая минерализация, может быть применена для решения широкого спектра задач по поиску и исследованиям никеленосных объектов. Прослеженные эмпирические закономерности могут быть использованы в качестве дополнительных критериев выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации и прогнозирования никелевого оруденения.

Достоверность защищаемых положений и выводов определяется представительностью и надежностью аналитических данных, детальностью геологических наблюдений на ключевых объектах, применением современных методов исследований вещества, непротиворечивостью полученных автором результатов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав основного текста и заключения. Занимает 163 страницы, содержит 25 таблиц, 35 иллюстраций и приложение. Список использованной литературы включает 178 наименований. Защищаемое положение № 1 раскрыто во второй главе, положение № 2 – в третьей главе, положение № 3 – в четвертой главе.

В **первой главе** рассмотрены особенности мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки и связанных с ними месторождения, рудопоявлений и пунктов минерализации никеля, проведен сравнительный анализ содержаний никеля в рудах различной формационной принадлежности и оценок прогнозных ресурсов никеля для различных металлогенических подразделений, выделяемых в регионе. Во **второй главе** охарактеризованы содержания никеля в породах и минералах мафит-ультрамафитовых формаций региона, рассмотрены критерии выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации. В **третьей главе** охарактеризованы особенности геологии, минералогии и геохимии руд отдельных рудопоявлений норит-кортландитовой формации. В **четвертой главе** дана характеристика геологического строения, минералогии, геохимии руд отдельных рудопоявлений и пунктов минерализации никеля в образованиях дунит-гарцбургит-габбровой формации, проведен сравнительный анализ рудопоявлений Восточной Камчатки и медноколчеданных с никелем и кобальтом проявлений Южного Урала.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 14 работ, из них 11 статей в рецензируемых изданиях, входящих в список ВАК. Результаты исследований изложены в производственных и научно-исследовательских отчетах ФГУГП «Камчатская ПСЭ», НИГТЦ ДВО РАН, а также докладывались на НТС этих организаций и на конференциях: Научной сессии Камчатского отделения ВМО (Петропавловск-Камчатский, 2000); Региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России (Томск, 2000); Конференции с российским и международным участием «Никеленосные провинции Дальнего Востока» (Петропавловск-Камчатский, 2012); Ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога (Петропавловск-Камчатский, 2016).

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность В.А. Степанову за научное руководство, а также Ю.П. Трухину за созданные условия для выполнения диссертации, советы, консультации

и критические замечания. Неоценимую помощь и содействие в работе оказали Б.А. Марковский, Л.И. Лукьянова. Выполнение диссертации было бы невозможно без поддержки М.Е. Бояриновой, Ю.А. Бурмакова, В.В. Иванова, В.Е. Кунгуровой, Д.П. Савельева, М.Д. Сидорова, Е.Г. Сидорова, В.А. Полетаева. Минералогические исследования проведены благодаря Г.Б. Молчановой, С.В. Москалевой, Т.М. Философовой, В.М. Чубарову, А.С.Шишову.

Мафит-ультрамафитовые формации Камчатки

Норит-кортландитовая формация представлена интрузиями дукусского комплекса в пределах КСМ. Известны как крупные интрузивы (до 30 км²), так и многочисленные мелкие пластообразные и штокообразные тела мощностью десятки-сотни метров. Сложены гранатосодержащими диоритами, диоритами, норитами, габброноритами, ортопироксенитами, горнблендитами и коротландитами. Проявлена дифференциация, в результате которой нижняя часть интрузий образована породами ультраосновного и основного, верхняя – основного и среднего составов. Иногда наблюдается ритмичная расслоенность. Вмещающими являются апотерригенные кристаллические сланцы и гнейсы. Приконтактные части крупных интрузий образованы лейкократовыми норитами и диоритами с гранатом. В экзоконтакте интрузий и в ксенолитах вмещающие сланцы превращены в роговики, сложенные гранатом, силлиманитом, биотитом, плагиоклазом, кварцем. (Сляднев и др., 2006; Конников, 2009).

С интрузиями норит-кортландитовой формации связаны Шанучское месторождение и проявления сульфидных кобальт-медно-никелевых руд Камчатской никеленосной провинции (Полетаев, 1999; Трухин и др., 2008; рисунок 1). Все объекты относятся к сульфидному медно-никелевому геолого-промышленному типу. Руды богатые, оценки средних содержаний Ni для разных типов руд варьируют от 2 до 5,41 масс. %, Cu – от 0,48 до 1,08 масс. %, Co – от 0,06 до 0,13 масс. %. Главные рудные минералы – пирротин, пентландит, халькопирит, виоларит и пирит. Никеленосные объекты сосредоточены в двух рудных районах – Шанучском и прогнозируемом Дукусском. Прогнозируется также Колпаковский рудный район, который пока слабо изучен (Трухин и др., 2008; рисунок 1). На Шанучском рудном поле расположены рудные тела месторождения Шануч, а также участок

Восточно-Геофизический (Трухин и др., 2011). 26 никелевых рудопроявлений сосредоточено в Дукукском рудном районе (рисунок 1). Прогнозные ресурсы Ni Шанучского рудного поля оцениваются в 380 тыс. т (суммарно, по категориям P_1 , P_2 и P_3), Дукукского прогнозируемого рудного района (узла) – 898 тыс. т (Сляднев и др., 2007). Прогнозные ресурсы Камчатской никеленосной провинции составляют более 1 млн. т Ni (Полетаев, 2004; Трухин и др., 2008).

Дунит-гарцбургит-габбровая формация представлена массивами ранне-позднемелового возраста в пределах Восточно-Камчатской и Приокеанской структурно-формационных зон (СФЗ, рисунок 1). Никелевая минерализация приурочена к массивам гипербазитов. Отмечаются как крупные тела площадью до 500 км², так и мелкие блоки в зонах серпентинитовых меланжей. В составе гипербазитовых массивов на п-ове Камчатский Мыс преобладают гарцбургиты, в меньшей степени распространены дуниты, встречаются пироксениты, вебстериты и рудные хромититы. Эпигенетические преобразования проявляются в серпентинизации ультраосновных пород. Границы с вмещающими образованиями тектонические. В зонах контактов помимо серпентина развиваются пектолит, ксонотлит, цеолиты, карбонаты. Для вмещающих пород характерны родингитизация, пренитизация, альбитизация.

Рудопроявления и пункты с никелевой минерализацией связаны с серпентинитами и оливиновыми вебстеритами. В серпентинитах распространен аваруит (Сидоров, 1987; Новаков и др. 2014). В оливиновых вебстеритах на п-ове Камчатский Мыс отмечена сульфидно-самородная платиноидно-медно-никелевая минерализация (Бояринова и др., 1999; Новаков и др. 2012, 2015). Благодаря исследованиям Б.К. Долматова, А.Ф. Литвинова, С.А. Мельниковой, Ю.В. Назимовой, Г.И. Родных, Е.Г. Сидорова, Б.И. Сляднева известны содержащие Ni и Co медноколчеданные проявления на о-ве Карагинском (потенциальное Маркеловское рудное поле) и на п-ове Озерном (рисунок 1). По данным геологоразведочных работ концентрация Cu в неокисленных рудах составляет 5,4 – 10,5 масс. %, Ni – от 0,2 до 0,5 масс. %, Zn – от 0,13 до 0,78 масс. %, золота и платиноидов от десятых до первых г/т. По масштабу оруденения объекты могут соответствовать мелким, возможно, средним месторождениям Cu и мелким – сопутствующим Ni и Co.

Массивы дунит-клинопироксенит-габбровой формации

развиты в пределах Центрально-Камчатской и Восточно-Камчатской СФЗ (рисунок 1). Формация представлена дифференцированными массивами дунитов, перидотитов, клинопироксенитов и габбро, умеренно-щелочных пироксенитов и габбро, монцогаббро, шонкинитов, монцонитов и сиенитов (Сляднев и др., 2006). Встречаются дайки шприсгеймитов (Марковский, Ротман, 1981; Флеров, Чубаров, 2009), флогопитовых перидотитов (Ротман, 1971; Корякско-Камчатский регион..., 2002; Новаков и др. 2000; Бурмаков, Новаков, 2007; Сляднев и др., 2006). Контакты с вмещающими интрузивные и тектонические. Приконтактные изменения связаны с фосфор-калиевым метасоматозом (Флеров, Колосков, 1965, 1976; Ротман, 1971; Флеров, Селиверстов, 1999; Корякско-Камчатский регион..., 2002; Сляднев и др., 2006; Флеров, 2007). Возраст дунитов, клинопироксенитов и габброидов оценивается как позднемеловой. Умеренно-щелочные разности рассматриваются как более поздние образования маастрихт-датского возраста (Марковский, Сидоров, 2000; Корякско-Камчатский регион..., 2002; Бурмаков, Новаков, 2007). С умеренно-щелочными породами и калиевыми метасоматитами связаны рудопроявления Cu. Дуниты характеризуются низкими содержаниями Ni в породе и в оливинах (Ланда и др., 2000). В результате серпентинизации гипербазитов образуются аваруиты, отмечены никелевые серпентины непуит-лизардитового ряда, содержащие до 26,96 масс. % Ni (Сидоров и др., 2012).

Защищаемые положения и их обоснование

1. Отличительной особенностью никеленосной норит-кортландитовой формации Камчатки в сравнении с дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой является снижение средних содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта с уменьшением основности и магнезиальности в ряду безрудных разностей пород, что обусловлено выделением сульфидов на магматическом этапе рудообразования.

Сравнительный анализ валовых содержаний Ni и сопутствующих Cu и Co в безрудных породах отражает механизмы магматогенного рудообразования. В таблице 1 представлены фоновые содержания Ni, Co, Cu и серы в безрудных разностях пород мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки. Для пород дунит-клинопироксенит-габбровой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций прослеживается снижение

содержаний Ni и Co с уменьшением их магнезиальности и основности. Концентрация Cu при этом возрастает. В то же время, в породах норит-кортландитовой формации содержания всех трех элементов снижаются от ультраосновных к основным породам. Содержания серы, оцененные по количеству SO_3 , уменьшаются в ряду от пород норит-кортландитовой к дунит-гарцбургит-габбровой формации (таблица 1). Для безрудных пород ультраосновного состава никеленосной норит-кортландитовой формации в сравнении с ультраосновными разностями других формаций характерно самое низкое содержание Ni.

Соотношения содержаний Ni, Co, Cu и серы в породах норит-кортландитовой формации указывают на ликвидацию сульфидного расплава в процессе становления интрузий. При этом Ni, Co и Cu концентрируются в сульфидах, образующих вкрапленность и рудные скопления в основных и ультраосновных породах. В ходе формирования плутонических образований дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций сидерофильные Ni и Co входят в состав породообразующих минералов ультраосновных пород и рассеиваются. Медь, которая обладает наибольшим сродством к сере, вместе с ней накапливается в поздних дифференциатах.

Отделение сульфидов в никеленосных интрузиях на магматическом этапе рудообразования подтверждается выполненными оценками средних содержаний Ni в рудных и породообразующих минералах различной формационной принадлежности. Для образований дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций при относительно низком содержании серы характерно преимущественное вхождение Ni в состав породообразующих минералов. Его наиболее высокое фоновое содержание в минералах группы оливина типично для ультрамафитов дунит-гарцбургит-габбровых массивов (0,17 масс. % – в форстерите и 0,14 масс.% – в оливине). Несколько более низкое содержание Ni отмечается в минералах группы оливина из пород дунит-клинопироксенит – габбровой формации (0,10 масс. % – в форстерите и 0,07 масс.% – в оливине). В шпинелидах наибольшая концентрация Ni характерна для гипербазитов дунит-клинопироксенит-габбровых массивов (0,12 масс. % в субальмохроммагнетитах). В минералах группы хромита-магнетита из плутонических пород других формаций она или ниже предела чувствительности метода анализа, или приближается к нему.

Для ультрамафитов норит-кортландитовой формации характерны низкие, в основном ниже предела обнаружения, концентрации Ni в шпинелидах в сочетании с резко неравномерным, чаще низким (ниже предела обнаружения) его содержанием в оливинах. Эти особенности могут рассматриваться в качестве дополнительных критериев выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации.

Признаком принадлежности сульфидов переменного состава к никеленосным интрузиям норит-кортландитовой формации является высокое содержание Ni. Оно составляет (в масс.%): 33,3–34,1 в пентландитах, 1,67 в гексагональных пирротинах. В то же время, пентландиты в оливиновых вебстеритах из гипербазитового массива г. Солдатской дунит-гарцбургит-габбровой формации отличаются низким содержанием Ni (24,9 масс. %), а также присутствием Cu и отсутствием Co.

Экстракция Ni в сульфиды в процессе магматического рудообразования подтверждается при исследовании составов оливинов из основных и ультраосновных пород с заметной сульфидной минерализацией и убогих руд, где распределение изоморфного Ni неравномерно вне зависимости от формационной принадлежности. В пределах одного образца в разных оливиновых зернах содержание Ni варьирует от значений «ниже предела обнаружения» до 0,2–0,5 масс.%. Концентрация Ni как в оливинах, так и в шпинелидах повышается вблизи сульфидных выделений, вероятно, вследствие поздних диффузионных процессов.

2. Минеральные ассоциации, текстуры и структуры кобальт-медно-никелевых руд, связанных с массивами норит-кортландитовой формации, указывают на участие в рудогенезе магматических, гидротермальных и контактово-метасоматических процессов.

Син- и эпигенетические процессы формирования медно-никелевой минерализации прослеживаются в особенностях минерального состава и соотношений минералов. В крупной Кувалорогской интрузии можно выделить три типа сингенетической сульфидной минерализации. Минерализация с низкой (сотые доли процента) концентрацией Ni проявлена в ороговикованных ксенолитах сланцев и в гранатсодержащих биотит-роговообманковых норитах приконтактной части. Преобладает пирротин в ассоциации с ильменитом, отмечаются халькопирит и сфалерит. В норитах и

диоритах распространена минерализация с содержанием до десятых долей процента Ni. Преобладает пирротин, в качестве второстепенных наблюдаются пентландит, халькопирит, сфалерит и пирит.

Рудная кобальт-медно-никелевая минерализация с содержанием от десятых долей до целых процентов Ni связана с кортландитами, ортопироксенитами, габброноритами. Главные рудные минералы представлены пирротинном, пентландитом и халькопиритом. Характерны сингенетические (пентландит-пирротиновая и пентландит-халькопирит-пирротиновая), а также эпигенетическая (пирит-марказитовая) рудные минеральные ассоциации. Они последовательно формируются в результате магматогенных и высокотемпературных гидротермальных преобразований, сменяющихся низкотемпературными гидротермальными процессами (Степанов и др., 2010; Новаков и др., 2014).

На рисунке 2 А, В представлены характерные соотношения сульфидов и силикатов, возникающие вследствие ликвации (Селянгин, 2006). В рудах наиболее распространен пирротин. Пентландит представлен двумя генерациями. Первая образует вкрапленники размером до первых миллиметров (рисунок 2 В, С) или цепочки тонких зерен размером до десятых долей мм. Поздний пентландит представлен пламенивидными выделениями в пирротинах (рисунок 2 С), а также мелкими (до сотых долей миллиметра) зернами, которые развиты вдоль тонких трещин и в периферической зоне кристаллов пирротина. Халькопирит образует рассеянную вкрапленность, гнезда, прожилки и тяготеет к краевым участкам пирротиновых выделений. Иногда в халькопирите наблюдаются мелкие (менее 0,05мм) изометричные включения пентландита, пирротина и игольчатого амфибола. Реже в нем встречаются включения гидротермальных минералов: никелина (рисунок 2 С), аргентопентландита, сфалерита, герсдорфита, диарсенидов никеля. В результате поздних гидротермальных процессов по пентландиту развивается виоларит, по пирротину – пирит и марказит, по халькопириту – ковеллин и борнит.

Эпигенетическая пирит-марказитовая гидротермальная минеральная ассоциация широко представлена в рудных телах Шанучского месторождения, где распространены руды, сложенные пирротинном, виоларитом, никелистым пиритом и халькопиритом. Часто наблюдаются текстуры (крустификационная, поточная, сетчатая, пересекающихся прожилков, колломорфная, петельчатая) и структуры

(концентрически-зональная, оторочковая), характерные для средне-низкотемпературных гидротермальных образований (рисунок 2 D, E, F).

На рудопроявлении Аннабергитовая Щель отмечено перераспределение компонентов руд вследствие контактово-метасоматических процессов под влиянием пострудного гранитоидного магматизма. Темноцветные силикаты (вероятно, преимущественно ортопироксены) замещены магнезиальной роговой обманкой, антофиллитом, биотитом, кварцем; по андезину и лабрадору развиваются альбит, олигоклаз и ортоклаз. При этом в минеральном составе рудной ассоциации качественных изменений не прослеживается. На рисунке 2 G представлен вкрапленник пирротина (около 5 мм) в плагиограните, который сложен ортоклаз-олигоклаз-кварцевым агрегатом (рисунок 2 I). с включениями темноцветных минералов – биотита и роговой обманки. Пирротиновое выделение содержит пентландитовые вроски и включения, от него отходят изогнутые цепочки более мелких, часто мономинеральных вкраплений пирротина и пентландита. Рудные минералы окружены реакционными каймами биотита и роговой обманки (рисунок 2 H). К выделениям темноцветных силикатов и сульфидов тяготеют мелкие (10–30 мкм) кристаллы арсенидов и сульфоарсенидов. Наблюдаемые соотношения минералов свидетельствуют о дезинтеграции крупного сульфидного зерна при внедрении гранитоидов и взаимодействии пирротина с пострудным кислым расплавом с образованием реакционной каймы из железосодержащих силикатов. Содержание никеля в составе темноцветных минералов из реакционных кайм в основном ниже предела обнаружения, что указывает на разложение преимущественно пирротина. Пентландит при этом перераспределялся внутри сульфидного зерна, образуя субпараллельные вроски, заполняя трещины и в целом обогащая зерно никелем. Халькопирит отмечается в сростках с пирротинном и метасоматическими силикатами, что свидетельствует о его переотложении в результате воздействия пострудных гранитоидов.

3. Формирование никелевой минерализации в образованиях дунит-гарцбургит-габбровой формации Камчатки связано с магматическими и гидротермально-метасоматическими процессами. Аналогами эпигенетических никель-кобальтсодержащих медноколчеданных руд в блоках гипербазитов из зон серпентинитового меланжа Восточной Камчатки являются

Ивановское и Ишкининское рудопроявления на Южном Урале, приуроченные к телам серпентинитов в зоне Главного Уральского разлома.

Сингенетическая сульфидно-самородная минерализация установлена в единственном пункте минерализации в оливиновых вебстеритах из гипербазитового массива г. Солдатской на полуострове Камчатский Мыс (Бояринова и др., 1999; Новаков и др., 2014, 2015). Формирование вебстеритов связано с поздними этапами становления массива гипербазитов. Структура пород панидиоморфнозернистая, участками пойкилитовая. Сложены энстатитом, форстеритом и диопсидом. По редким трещинам отмечен серпентин. Рудные минералы представлены хромшпинелидами, сульфидами, самородными металлами.

Сульфиды образуют цепочки тонких выделений вытянутой и округлой формы размером до 5–20 мкм в ортопироксенах (рисунок 3 А), а также ксеноморфные обособления размером до 2–5 мм (рисунок 3 В, С). В цепочках преобладает пентландит, отмечаются медно-никелевые сульфиды, борнит. Крупные выделения сложены пентландитом и минералами, сходными с ним по составу, но с повышенным содержанием меди. Подобные медно-никелевые сульфиды исследованы в лерцолитах перидотитового массива Гороман на о-ве Хоккайдо (Kitakaze, 2006, Kitakaze et. al., 2011). Крупные зерна никелевых сульфидов замещаются по трещинам аваруитом (рисунок 3 С, D). Самородная медь развивается по краям сульфидных выделений и выполняет трещины в рудных и силикатных минералах (рисунок 3 E, F). Исследован сложный микросросток сульфидов Fe, Cu и Ni в ассоциации с тонкозернистыми сульфидно-окисно-силикатными агрегатами. В зерне отмечено резорбированное выделение хромшпинелида, платинистая медь и соединения висмута и теллура. Соотношения сульфидных выделений с силикатами и слабые наложенные изменения в оливиновых вебстеритах предполагают сингенетическое образование сульфидов на магматической стадии. Ранние сульфиды представлены пентландитом, более поздние обогащены медью, платиной, палладием и теллуrom. Учитывая слабую степень серпентинизации пород, вероятно образование аваруита по пентландиту до начала формирования серпентина. Процессами серпентинизации обусловлены развитие и перераспределение

самородных фаз меди и платинистой меди, различных халькогенидов с теллуrom, висмутом и палладием, а также магнетита и макинавита.

В том же массиве г. Солдатской исследована *эпигенетическая самородная никелевая минерализация, связанная с серпентинитами* (Новаков и др., 2014). Зерна аваруита содержат включения орселита, а также хизлевудита, пентландита и их сростания (рисунок 4 В, С, D). В аваруите встречаются субграфические и волокнистые вроски серпентина (рисунок 4 А, В). Уайаруит образует оторочки толщиной до 2 мкм вдоль контактов микровключений пентландита с аваруитом (рисунок 4 D). Обнаружен агрегат аваруита и орселита, обрастающий магнетитом, разбитый трещинами, по которым развивается серпентин (рисунок 4 E). В аваруите установлено включение самородного осмия размером около 1 мкм (рисунок 4 F).

Сростания аваруита с серпентином подчеркивают связь никелевой минерализации с процессами гидратации силикатов в восстановительной обстановке. При этом аваруит, пентландит, хизлевудит и орселит сингенетичны и являются более ранними фазами относительно магнетита, который обрастает аваруит и арсениды в результате их окисления.

Содержащие Ni и Co медноколчеданные проявления и пункты минерализации на о-ве Карагинском и п-ове Озерном представлены прожилково-вкрапленными и массивными разностями руд, которые приурочены к наиболее серпентинизированным, тектонизированным частям массивов гипербазитов. Руды формировались в результате гидротермально-метасоматических преобразований ультраосновных пород в проницаемых зонах разрывных нарушений и связанных с ними серпентинитовых меланжей (Назимова, 2000; Сидоров, 2009).

В качестве аналогов Камчатских рудопроявлений рассмотрены Ивановское и Ишкининское проявления никель-кобальтсодержащих медноколчеданных руд на Южном Урале (Новаков, Сидоров, 2016). Сходство проявляется в приуроченности массивных и прожилково-вкрапленных руд к зонам глубинных разломов, сопровождаемых серпентинитовым меланжем; линзообразной форме рудных тел, протяженность которых составляет десятки-сотни метров, а мощность – от первых до десятков метров; пространственной ассоциации с тальк-карбонатными метасоматитами (табл. 2). Рудам Восточно-Камчатских и Южноуральских рудопроявлений присущи близкие химические составы, сходные минеральные ассоциации и особенности минералов.

Главным полезным компонентом является Cu (Cu и Zn). Второстепенные – Ni, Co, благородные металлы. Рудные минералы представлены пирротинном, халькопиритом, кубанитом, пиритом, никелистым пиритом, пентландитом, минералами группы линнеита, макинавитом, марказитом, сфалеритом, валлериитом, никелином, самородным золотом. Отмечаются структуры распада сфалерита и халькопирита, халькопирита и кубанита. Пентландит образует пламеневидные вроски и мелкозернистые таблитчатые агрегаты в пирротине, отдельные идиоморфные зерна.

Заключение

В породах дунит-клинопироксенит-габбровой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций установлено снижение концентраций Ni и Co и возрастание содержаний Cu с уменьшением их основности и магнезиальности. Для безрудных пород никеленосной норит-кортландитовой формации характерно снижение концентраций всех трех элементов. Эта закономерность иллюстрирует ликвацию сульфидного расплава в процессе становления интрузий норит-кортландитовой формации, когда все три элемента концентрируются в сульфидах. При отсутствии ликвации сидерофильные Ni и Co рассеиваются в породообразующих минералах групп оливина и хромита-магнетита. Прослеженные закономерности согласуются с данными по оценкам средних содержаний Ni в породообразующих и рудных минералах руд и пород мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки.

В качестве дополнительных критериев выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации могут быть использованы содержания Ni в минералах ультрамафитов. Характерны низкие, в основном ниже предела обнаружения, концентрации Ni в шпинелидах в сочетании с резко неравномерным, чаще низким (ниже предела обнаружения) его содержанием в оливинах.

При исследованиях рудных минеральных ассоциаций выявлено, что формирование богатых кобальт-медно-никелевых руд, связанных с массивами норит-кортландитовой формации, обусловлено магматогенными и гидротермально-метасоматическими процессами. Установлено перераспределение рудных компонентов в результате контактово-метасоматического воздействия при внедрении пострудных гранитоидов.

В образованиях дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций большая часть Ni изоморфно входит в состав породообразующих минералов. Магматогенная сульфидная никелевая минерализация распространена ограниченно, что подтверждается результатами маршрутных исследований массива г. Солдатской дунит-гарцбургит-габбровой формации (Бояринова и др., 2002). Поэтому возникновение сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов, самородных элементов, силикатов никеля в ультраосновных массивах этих формаций обусловлено преимущественно их эпигенетическими преобразованиями. В зависимости от особенностей гидротермальных или гидротермально-метасоматических процессов, образуются никельсодержащие серпентины (Сидоров, 2012), рассеянная аваруитовая минерализация или содержащие Ni и Co медноколчеданные руды проявлений Маркеловского, Монолитного, Рыцарь. Аналогами этих рудопроявлений на о-ве Карагинском и п-ове Озерном являются Ивановское и Ишкининское рудопроявления Южного Урала. Сходство проявляется в геолого-структурной обстановке, приуроченности к блокам серпентинизированных гипербазитов в зонах серпентинитового меланжа, параметрах рудных тел, минеральном и химическом составе руд, характере рудных и пострудных изменений рудовмещающих образований (Новаков, Сидоров, 2016).

В настоящее время практическое значение как для промышленной добычи, так и в плане поисков имеют богатые кобальт-медно-никелевые руды КНП как в мелких, так и в крупных интрузиях норит-кортландитовой формации. Некоторые перспективы выявления промышленной никеленосности связаны с медноколчеданными рудами гидротермально-метасоматического генезиса в зонах серпентинитового меланжа на о-ве Карагинском и п-ове Озерном, которые содержат Ni и Co в качестве попутных компонентов. Интерес для поисков никелевого оруденения могут представлять зоны серпентинитового меланжа, которые широко распространены в пределах Восточно-Камчатской СФЗ. Их протяженность может составлять десятки километров, а мощность – до 1–2 км. Зоны обладают высокой проницаемостью для гидротермальных растворов, в результате воздействия которых на блоки гипербазитов дунит-гарцбургит-габбровой или дунит-клинопироксенит-габбровой формаций с повышенным фоновым

содержанием Ni могут возникать никелевые сульфиды, арсениды, сульфоарсениды, силикаты и их рудные концентрации.

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. *Новаков Р.М.* Хромитовая минерализация в ультрамафитах п-ова Камчатский Мыс (Камчатка) / *А.Б. Осипенко, Р.М. Новаков* // Записки Всероссийского минералогического общества, 2002. № 2. С. 84–98.
2. *Новаков Р.М.* Разработка базы данных Шанучского месторождения (Камчатка) в среде MICROSOFT ACCESS / *Р.М. Новаков, В.В. Таскин, М.Д. Сидоров, С.В. Паламарь* // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2013. Т. 22. С. 91–97.
3. *Новаков Р.М.* Пентландиты и аваруиты гипербазитового массива г. Солдатской, п-ов Камчатский Мыс (Камчатка) / *Р.М. Новаков, С.В. Москалева, В.В. Иванов* // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2014. Т. 2. № 24. С. 137–146.
4. *Новаков Р.М.* Геохимия благородных металлов в медно-никелевых рудах участка Восточно-Геофизического (Шанучское рудное поле, Камчатка) / *Р.М. Новаков, Ю.П. Трухин, М.Д. Сидоров* // Известия ВУЗов. Геология и разведка, 2014. № 3. С. 44–51.
5. *Новаков Р.М.* Медно-никелевая и благороднометалльная минерализация в оливиновых вебстеритах п-ова Камчатский мыс (Камчатка) / *Р.М. Новаков, В.В. Иванов, Ю.П. Трухин, Е.Г. Панова* // Вестник СПбГУ, 2015. Сер. 7. Вып. 4. С. 82–96.
6. *Новаков Р.М.* Никеленосность медно-колчеданных проявлений в серпентинитах Восточной Камчатки / *Р.М. Новаков, М.Д. Сидоров* // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), 2016. Вып. 31. С. 13–26.
7. *Новаков Р.М.* Медно-никелевые руды участка Восточно-Геофизический (Шанучское рудное поле, Камчатка) / *Р.М. Новаков, Ю.П. Трухин, В.Е. Кунгурова, М.Д. Сидоров, С.В. Паламарь* // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2017. № 1. Вып. 33. С. 34–45.

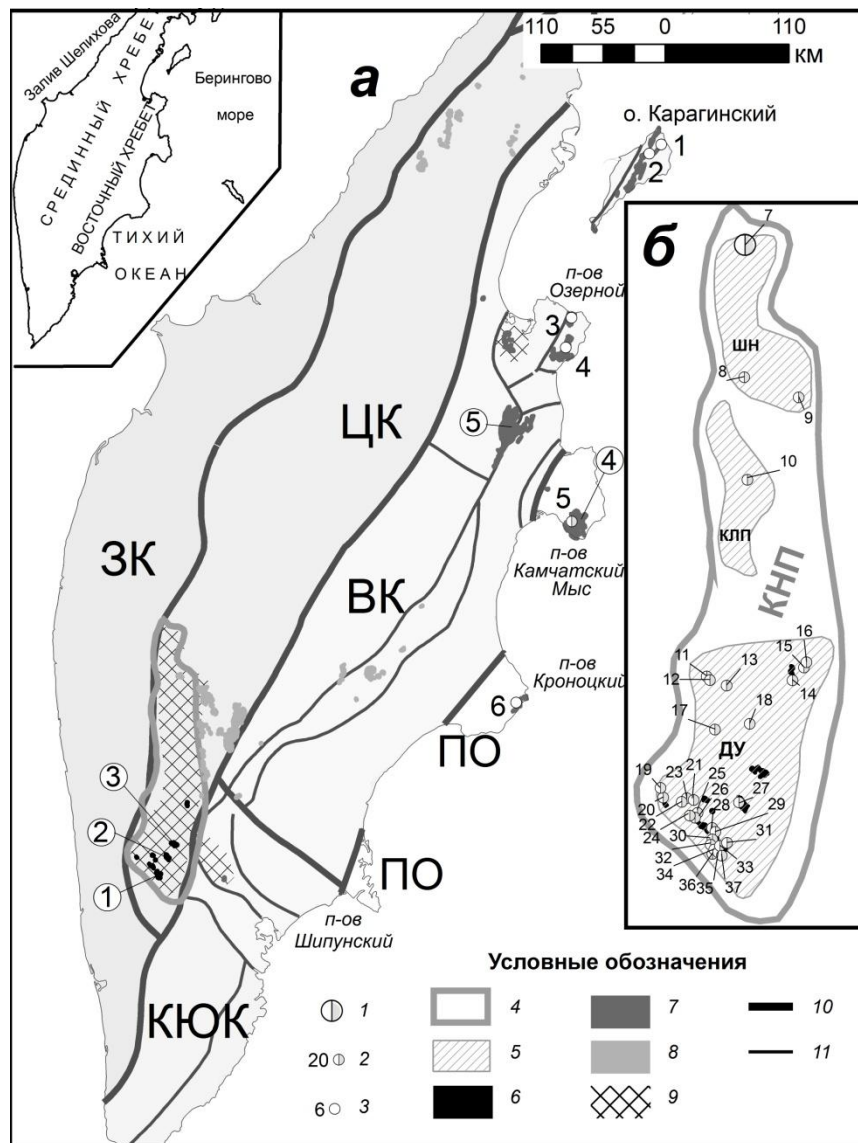


Рисунок 1. Схема а – расположение массивов мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки, проявлений и пунктов никелевой минерализации. Схема б – Камчатская никеленосная провинция (увеличенный фрагмент). Составлено по (Карта полезных ископаемых, 1999; Сляднев и др., 2013; Трухин и др. 2008, с изменениями).

Условные обозначения (схемы а и б). 1 – медно-никелевое месторождение Шануч; 2, 3 – рудопроявления и пункты минерализации, их номера (2 – медно-никелевые, 3 – медные с никелем); 4 – Камчатская

Таблица 1. Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO₃) в безрудных породах мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки

Магматические формации		Породы	ан. к/г	Ni, г/т	ан. к/г	Co, г/т	ан. к/г	Cu, г/т	ан. к/г	SO ₃ , масс. %
Дунит-клинопирокс-габбровая	умеренно-щелочные пироксениты, габбро, монцогаббро, шонкиниты, монзониты, сиениты, флогопит. перидотиты	средние	10	19	10	23	1	21	5	0,02
		основные (ущ)	10	37	9	32	4	31	1	0,30
		клинопироксениты	13	56	13	80		н. д.		н. д.
		ультраосновные	3	953	3	62	3	47	1	0,10
	дуниты, клинопироксениты, габбро	основные	35	60	22	42	20	101	3	0,08
		клинопироксениты	74	110	56	67	30	27	3	0,04
ультраосновные		144	906	133	180	36	4		н. д.	
дунит-гарцбургит-габбровая		основные	9	156	9	50	9	60		0,04
		пироксениты	1	460	1	70	1	30		0,003
		ультраосновные	27	1894	16	62	27	15		н. д.
кортландит-норитовая		основные	24	98	24	44	24	44	3	0,71
		ортопирокс., горнбл.	16	176	16	75	15	88	6	1,58
		ультраосновные	9	730	9	120	9	129	6	1,42

① - 1 ○ - 2 ⊕ - 3 ○ - 4

Примечание. 1 – кобальт-медно-никелевые месторождения и рудопроявления; 2 – рудопроявления и пункты минерализации титаномagnetит-борнит-халькопиритовых руд; 3 – пункты минерализации меди в габброидах (Корякско-Камчатский регион..., 2002); 4 – медно-никелевая минерализация в оливиновых вебстеритах; н. д. - нет данных. При количестве анализов от 3 до 4 приведены средние значения. Остальное - медианы. Составлено по собственным данным и по материалам из публикаций других авторов (Колосков и др., 2009; Конников и др., 2009; Корякско-Камчатский регион..., 2002; Осипенко, Крылов, 2001; Селянгин, 2006; Сидоров и др., 2012; Симакин и др., 2015; Соколов, Ханчук, 1990; Тарарин и др., 2007; Трухин и др., 2009; Флеров и др., 2001).

никеленосная провинция (КНП, контур по Трухин, Степанов, 2008); 5 – рудные районы: Шанучский (ШН), прогнозируемые Колпаковский (КЛП) и Дукусский (ДУ); 6–8 – массивы плутонических формаций, (6 – норит-кортландитовой, 7 – дунит-гарцбургит-габбровой, 8 – дунит-клинопироксенит-габбровой); 9 – блоки метаморфических пород; 10 – тектонические границы структурно-формационных зон (ЗК – Западно-Камчатская, ЦК – Центрально-Камчатская, КЮК – Курило-Южно-Камчатская, ВК – Восточно-Камчатская, ПО – Приокеанская); 11 – тектонические границы разнородных блоков. Номера рудопроявлений и пунктов минерализации на схемах а и б: 1 – Монолитное, 2 – Маркеловское, 3 – Рыцарь, 4 – Гребень, 5 – Горы Голой, 6 – Большая-Буй, 7 – Шануч, 8 – Малахитовый и Меридиан, 9 – Крутогорова, 10 – Колпакова, 11 – Нижний, 12 – Иргус, 13 – Перевальный, 14 – Правый Кагнисин, 15 – Левый Кагнисин, 16 – Утудумец, 17 – Сунтунк, 18 – Пымта, 19 – Тундровое, 20 – Река Мокушка, 21 – Квинум I и Квинум II, 22 – Гольцовый, 23 – Лагерная, 24 – Пуконка, 25 – Ясное, 26 – Кортландитовое, 27 – Дукук, 28 – Северное, 29 – Обвальный, 30 – Аннабергитовая Щель, 31 – Кувалороз, 32 – Нижнемедвежье и Снежное, 33 – Цирковое, 34 – Нижнемедвежье и Снежное, 35 – Медвежье, 36 – Олень, 37 – Рассоха.

Цифры в кружках на схеме а – наиболее крупные массивы разных формаций. Норит-кортландитовая: Кувалорозский (1), Дукусский (2), Пенцкий (3). Дунит гарцбургит-габбровая: массив горы Солдатской (4), Кротонский (5).

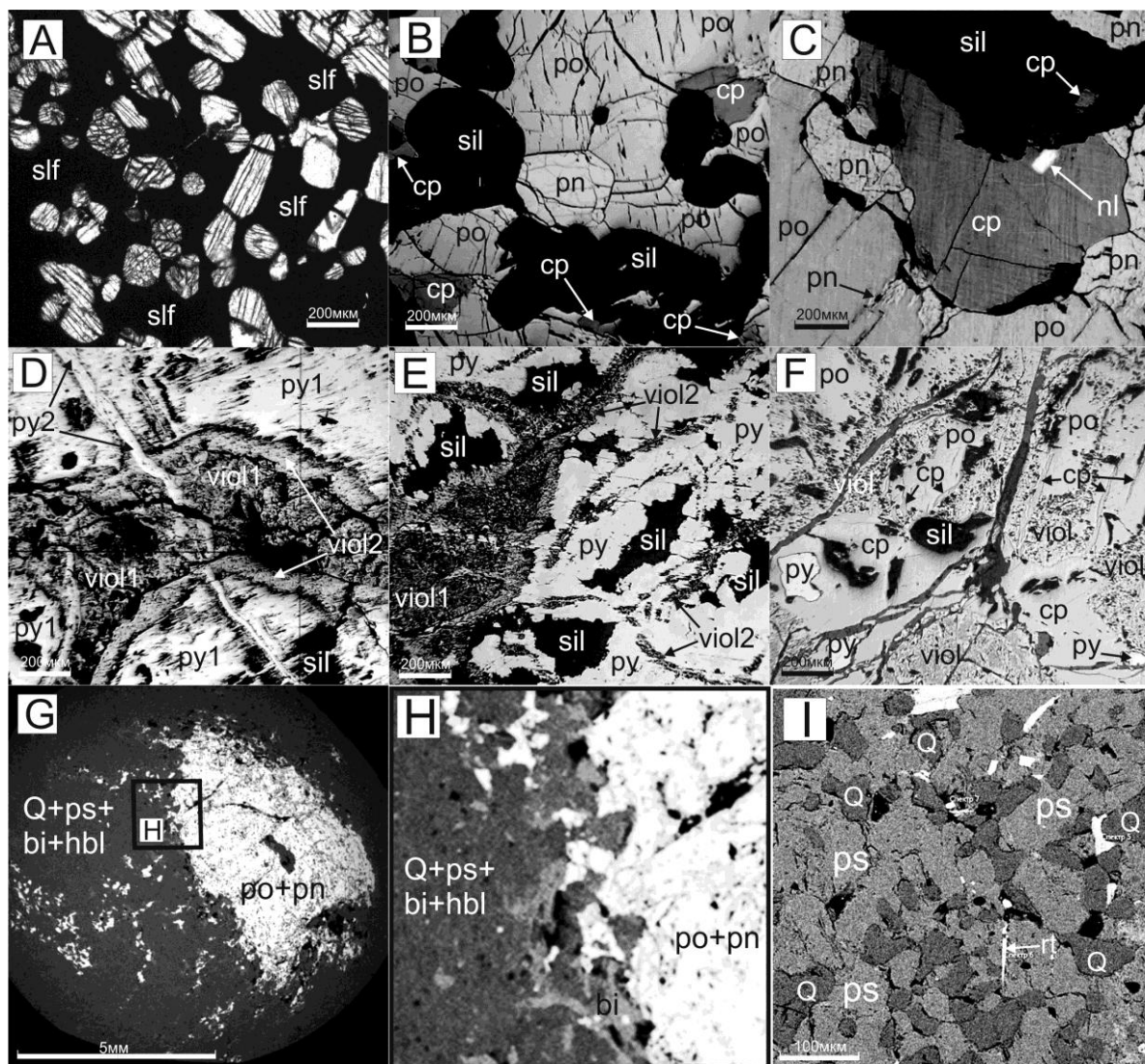


Рисунок 2. Соотношения главных рудообразующих минералов: А – сидеронитовая структура, образованная закругленными и идиоморфными кристаллами ортопироксена в сульфидном матриксе (slf); В – округленные обособления силикатов (sil) в сульфидном матриксе, сложенном пирротинном (po), пентландитом (pn) и халькопиритом (cp); С – зерна пентландита первой генерации в пирротине с пламенивидными выделениями пентландита второй генерации, зерно халькопирита с включением никелина (nl); D – ксеноморфные выделения виоларита первой генерации (viol1) с оторочками виоларита второй генерации (viol2) между зернами пирита первой генерации (py1), ранние фазы пересекают прожилки пирита второй генерации (py2); Е – оторочки виоларита второй генерации (viol2) вокруг выделений пирита (py) и виоларита первой генерации (viol1); F – пересечение прожилками халькопирита выделений пирротина и виоларита (viol), вкрапления пирита в выделениях халькопирита; G – крупное выделение пирротина с вростками пентландита в прожилке гранитоидов (Q+ps+bi+hbl), окруженное цепочками мелких сульфидных зерен; H – фрагмент контакта крупного вкрапленника пирротина с каймой из биотита и роговой обманки и вмещающих гранитоидов; I – структура кварц-полевошпатового агрегата с игольчатыми кристаллами рутила (rt). А – фото в проходящем свете; В – F – фото в отраженном свете; G – I – фото сделаны на SEM Tescan Vega 3 в ИВиС ДВО РАН (аналитик – С.В. Москалева).

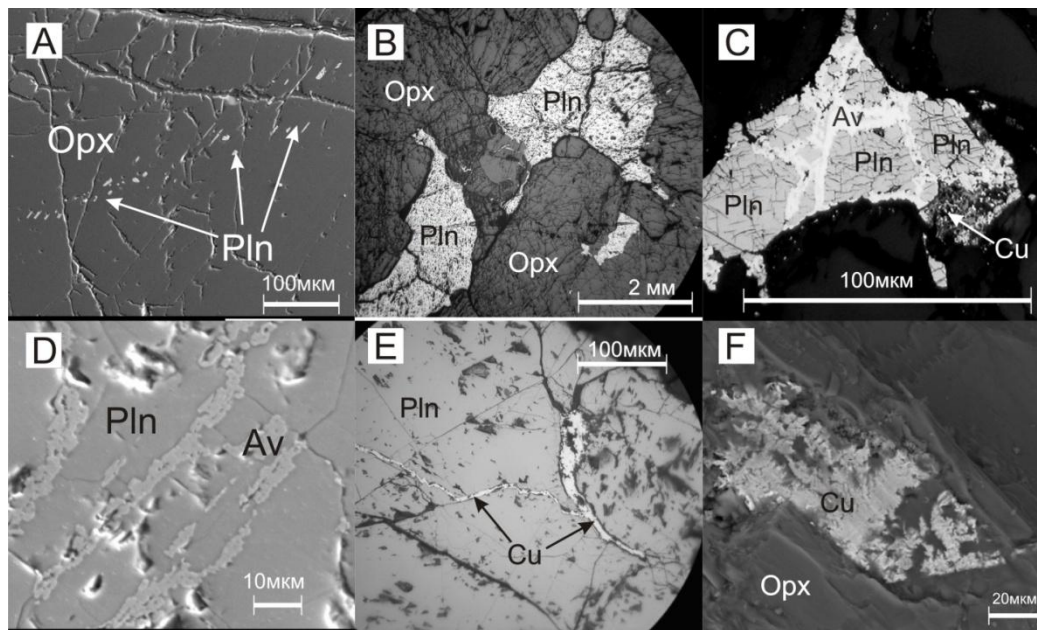


Рисунок 3. Морфология выделений рудных минералов в оливиновых вебстеритах. А – цепочка тонких выделений сульфидов в ортопироксене (Orx); В – форма крупных выделений пентландита (Pln) среди ортопироксенов. С, D – замещение пентландита вдоль трещин аваруитом (Av): С – частично замещенный аваруитом (светлое) пентландит, по краю зерна – самородная медь (Cu); D – характер замещения пентландита аваруитом вдоль трещин отдельности – выделения аваруита (светло-серое) разрастаются от трещин. Е, F – характер выделений самородной меди: Е – самородная медь по трещинам в пентландите; F – дендриты самородной меди по трещинам спайности в ортопироксене. В, С, Е – фото в отраженном свете; А, D, F – рентгеноспектральный микроанализатор JXA-8100 в ДВГИ ДВО РАН (аналитик – Г.Б. Молчанова); F – СЭМ Zeiss EVO 50XVP в ДВГИ ДВО РАН (аналитик – А.С.Шишов).

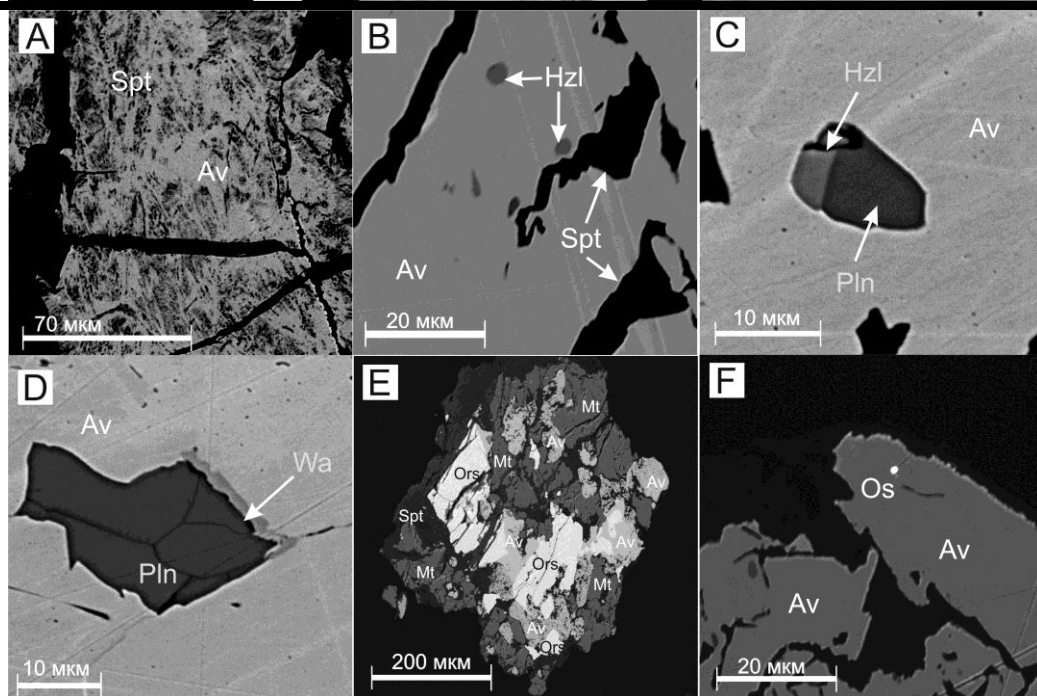


Рисунок 4. Аваруитовая минерализация из серпентинитов. А – срастание аваруита (Av, светлое) с волокнистым серпентином (Spt, темное); В, С – округлые включения пентландита (Pln) и хизлевудита (Hzi) в аваруите; D – включение пентландита в аваруите, по краю включения – кайма уайаруита (Wa); Е – агрегат магнетита (Mt), аваруита, орселита (Ors) и силикатов магния (серпентин ?); F – включение самородного осмия (Os) в аваруите. А, Е, F – фото сделаны на рентгеноспектральном микроанализаторе Camebax 244; В, С, D – на SEM Tescan Vega 3 в ИБИС ДВО РАН (аналитик – С.В. Москалева).

Таблица 2. Сравнение особенностей никель-кобальтсодержащих медноколчеданных объектов Восточной Камчатки и Южного Урала.

Регион			Восточная Камчатка			Южный Урал		Характерные общие особенности
Местор. и прояв.			Монолитное	Маркеловское	Рышарь	Ивановское	Ишкининское	
Рудоконт. структ.			Зоны глубинных разломов, сопровождаемых серпентинитовым меланжем					В зонах глубинных разломов, сопровождаемых серп. меланжем
Геологич. условия			Линейно вытянутые зоны вдоль проницаемых зон тектонических нарушений		Блоки с оруденением в зоне серпентинитового меланжа	Тект. контакты серпентинитов с базальтовыми блоками	Кровля пластины серпентинитов	
Особенности морфологии и параметры рудных тел			Неправильная пережатая линза протяженностью 175 м с максимальной шириной 45 м	Линзообр. тело длиной до 500 м, мощностью от 8 до 14 м. По геофизич. данным мощность от 10 до 120 м, протяженность 650 м.	Обломки серпентинитов с прож.-вкрапл. минерализ., глыбы массивных сульфидных руд (от 20 см до 5 м). Рудоносные зоны мощностью от 4 до 40 м, протяженность до 240 м.	Будины, линзы массивных сульф. руд протяженностью десятки и первые сотни метров и мощностью до 20 м, отмечены штокверки	Установлено 33 рудных тела мощностью 0,3–5,5 м, длиной по простиранию от 0,5–2 до 65–163 м, по падению 13–60 м	Линзообр. форма рудного тел, протяженность десятки-сотни метров, мощн. от первых до десятков метров
Содержания полезных компонентов в рудах*			Cu (%) от 0,п до п Zn (%) от 0,п до п Ni (%) до 0,п Co (%) до 0,0п Ag (г/т) - n×100 Au (г/т) - n	Cu (%) от 0,п до п Zn (%) от 0,п до п Ni (%) – 0,п Co (%) до 0,0п Ag (г/т) - n×100 Au (г/т) - n	Cu (%) от 0,п до п Ni (%) – 0,п Zn (%) – 0,п Ag (г/т) - n Au (г/т) от n до n×10 Te (г/т) - n×10, Se (г/т) - n×10	Cu (%) от 0,п до п Zn (%) – 0,п Co (%) – 0,0п Ni (%) – 0,п Ag (г/т) - n Au (г/т) от 0,п до n	Cu (%) от 0,п до п Co (%) – 0,0п до 0,п Ni (%) – 0,п Ag (г/т) - n Au (г/т) от 0,п до n	
Ni/Cu			~0,п	~0,п	~0,п	0,13		
Co/Cu			~0,0п	~0,0п		0,04	0,03	
Состав руд	Элем.	главные	Cu, Zn, Au	Cu, Zn, Au	Au, Cu	Cu, Ni, Co	Cu, Co	
		второстеп.	Ni, Co, благ. мет.	Ni, Co, благ. мет.	Ni, благ. мет.	благ. мет.	Ni, Zn, благ. мет.	
	Минералы	главные	пирротин, халькопирит, кубанит, сфалерит,	пирротин, халькопирит, кубанит и сфалерит, пирит	пирротин, халькопирит	пирротин, халькопирит, пирит	пирротин, пирит, халькопирит	пирротин, халькопирит, кубанит пирит, Ni-пирит, пентландит, минералы группы линнеита, макиनावит, марказит, сфалерит, валлериит, никелин, самор. Au
		второстеп. и редкие	кобальтпентландит, виоларит, Ni-пирит, макиनावит, борнит, самор. Au,	кобальтпентландит, виоларит, Ni-пирит, макиनावит, борнит, самор. Au,	пентландит, сфалерит, марказит, валлериит, никелин, франклинит, самор. Au, теллуриды, селениды	пентландит, макиनावит, минералы группы линнеита, Ni-пирит, кубанит,сфалерит, марказит, валлериит, арсенопирит, глаукокодот, аллоклазит, кобальтин	пентландит, виоларит, макиनावит, сфалерит, арсенопирит, герсдорфит, саффорит, никелин, кобальтин, леллингит, самор. Au, раклиджит	
Особенности минералогии			Отмечаются структуры распада сфалерита и халькопирита, халькопирита и кубанита. Пентландит - пламенивидные вростки в пирротине, идиоморфные зерна среди пирротина халькопирита, мелкозернистые таблитчатые агрегаты в пирротине.					
Типы руд			Прожилково-вкрапленные, гнездовые		Массивные, прожилково-вкрапленные	Массивные, прожилково-вкрапленные	Массивные, прожилково-вкрапленные, обломочные	массивные и прожилково-вкрап.
Генезис			Гидротермально-метасоматический			Гидротермально-метасоматический	Гидротер.-метасоматич., кластогенный	
Околорудные изменения			В пределах рудопроявления – антигоритовые разности серпентинов, которые к флангам сменяются хризотилами и лизардитами. Отмечается лиственитизация		Отмечена карбонатизация вдоль зон разрывных нарушений	Тальковые, тальк-карбонатные и карбонат-тальковые метасоматиты	Карбонатные, тальк-карбонатные апосерпентинитовые метасоматиты	Простр. ассоциация с тальк-карбонатными метасоматитами

*Примечание. Содержания полезных компонентов приведены в порядковых значениях. Использованы данные: Зайков, и др.2005; Карта полезных ..., 1999; Контарь, Либарова, 1997; Литвинов и др., 1988; Мелекесцева, и др.2003; Мелекесцева, 2005; Мельникова и др., 1973, 1974; Назимова, 1992; Сляднев и др., 2013; Степанов, 2008; Щепотьев и др., 2013.