

Федеральное агентство научных организаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук

На правах рукописи

НОВАКОВ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ

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

Специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор геолого-
минералогических наук, профессор В.А. Степанов

Петропавловск-Камчатский – 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. Мафит-ультрамафитовые формации Камчатки	20
1.1. Норит-кортландитовая формация	20
1.2. Дунит-гарцбургит-габбровая формация	21
1.3. Дунит-клинопироксенит-габбровая формация	22
1.4. Никелевые месторождения, рудопроявления и минерализация в мафит-ультрамафитовых плутонических формациях Камчатки	23
1.4.1. Норит-кортландитовая формация	23
1.4.2. Дунит-гарцбургит-габбровая формация	27
1.4.3. Прочие проявления никелевой минерализации	28
Глава 2. Содержания никеля, кобальта и меди в породах и минералах мафит-ультрамафитовых плутонических формаций Камчатки	31
2.1. Валовые содержания никеля, кобальта и меди в безрудных породах	31
2.2. Минералы никеля руд и пород мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки	33
2.3. Критерии выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации	37
Глава 3. Особенности рудогенеза в телах норит-кортландитовой формации	44
3.1. Рудопроявления в пределах Кувалорогского массива	44
3.1.1. Геологическое строение	44
3.1.2. Рудная минерализация в северо-западной части Кувалорогского массива	55
3.1.3. Рудная минерализация в восточной части Кувалорогского массива	61

3.2. Рудопоявление Аннабергитовая Щель	65
3.2.1. Геологическое строение	65
3.2.1. Содержание полезных компонентов в рудах	68
3.2.2. Характеристика текстурно-структурных особенностей и минерального состава руд и пород	68
3.2.3. Состав и соотношения рудных минералов	72
3.3. Участок Восточно-Геофизический	75
3.3.1. Геологическое строение	75
3.3.2. Содержания полезных компонентов в рудах	78
3.3.3. Характеристика структурно-текстурных особенностей и минерального состава руд	80
3.3.4. Пространственное размещение полезных компонентов в рудном теле	81
3.3.5. Состав и соотношения рудных минералов	84
3.4. Процессы рудогенеза и последовательность минералообразования в интрузиях норит-кортландитовой формации	86
3.4.1. Син- и эпигенетические процессы рудообразования	89
3.4.2. Процессы в зоне гипергенеза	93
Глава 4. Формирование никелевой минерализации в образованиях дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций	97
4.1. Никелевая минерализация в гипербазитовом массиве г. Солдатской дунит-гарцбургит-габбровой формации	97
4.1.1. Геологическое строение	97
4.1.2. Сульфидно-самородная никелево-медная минерализация в оливиновых вебстеритах	100

4.1.3. Составы и соотношения рудных и порообразующих минералов в оливиновых вебстеритах.....	103
4.1.4. Самородная никелевая минерализация в серпентинитах	109
4.1.5. Последовательность минералообразования и генезис никелевой минерализации в гипербазитах п-ова Камчатский Мыс	112
4.1.6. Вероятный аналог платиноидно-медно-никелевой минерализации в оливиновых вебстеритах (дунит-гарцбургит-габбровая формация).....	116
4.2. Медноколчеданные с никелем и кобальтом проявления и пункты минерализации в гипербазитах дунит-гарцбургит-габбровой формации	118
4.2.1. Геолого-структурное положение проявлений медноколчеданных с никелем и кобальтом руд на о-ве Карагинском	118
4.2.2. Геологические и минералого-геохимические особенности рудопроявлений о-ва Карагинского	120
4.2.3. Вероятные аналоги проявлений медноколчеданных с никелем и кобальтом руд Восточной Камчатки	122
4.3. Никелевая минерализация в массивах дунит-клинопироксенит-габбровой формации.....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	132
Список рисунков.....	156
Список таблиц	158
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	161

ВВЕДЕНИЕ

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 [22].

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). Ряд пунктов никелевой минерализации, а также его потоков и ореолов рассеяния установлены в вулканитах основного и ультраосновного состава.

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 темы исследований. Рудопроявления и пункты минерализации никеля на Камчатке связаны с массивами норит-кортландитовой (или роговообманковых базитов по [22]) и дунит-гарцбургит-габбровой формаций. Первые сосредоточены в Центральной Камчатке, вторые – в восточной части полуострова (рис. 1). В наибольшей степени исследована никелевая минерализация, связанная с рудоносными массивами норит-кортландитовой формации в Центральной Камчатке. Впервые медно-никелевые руды здесь были обнаружены в 1959 году М.Ф. Власенко [101]. Многочисленные рудопроявления и Шанучское месторождение локализованы в пределах Камчатского срединного массива метаморфических пород (КСМ). Никеленосность этой территории с восьмидесятых годов прошлого века подчеркивается авторами прогнозно-металлогенических построений [3, 15, 23, 76, 77, 100, 114, 129]. Были выделены Камчатская никеленосная зона, Камчатская никеленосная провинция [76, 77, 114]. В настоящее время Шанучское месторождение разрабатывается ЗАО НПК «Геотехнология». Это же предприятие ведет поисково-разведочные работы на медно-никелевых рудопроявлениях в южной части КСМ.

С момента открытия сульфидных медно-никелевых руд, связанных с интрузиями норит-кортландитовой формации, их изучение проводилось как геологами производственных предприятий, так и научными учреждениями и отдельными исследователями. В результате были получены данные о геохимии, минералогии, процессах рудообразования и геофизических особенностях никеленосных объектов, их геологическом строении и месте в геологической структуре региона. Можно выделить три этапа геологических исследований [45, 101]. На первом Е.А. Баженовым, М.Ф. Власенко, С.З. Горбачёвым, Э.М. Ерешко, В.П. Зотовым, М.М. Лебедевым, В.Н. Лукьяновым были проведены региональные поиски и поверхностное изучение медно-никелевых рудопроявлений в южной части Камчатского срединного массива [138, 139, 143, 144, 157]. На втором этапе, после открытия Б.И. Слядневым в 1971 году Шанучского месторождения, началось поисковое и поисково-оценочное изучение медно-никелевых объектов КСМ. Работы проводились А.И. Байковым, Ю.В. Бархатовым, В.Д. Бубновым, В.А. Ермоленко, В.П. Зо-

товым, В.И. Лезиным, Б.А. Слядневым, В.Н. Шаповаленко, Е.К. Игнатьевым, Л.И. Игнатьевой, А.С. Гумовским, И.В. Евтиховым, Б.М. Дзюбой, Ю.М. Ястремским [145, 146, 148, 150, 151, 152, 166, 175, 176, 177]. Третий этап связан с получением в 1994 г. НПК «Геотехнология» лицензии на освоение месторождения Шануч. С этого момента начались планомерные поисковые и геологоразведочные работы в рамках лицензионного соглашения, которые проводились геологами предприятия Н.А. Вешняковым, А.С. Гумовским, Е.К. Игнатьевым, В.Б. Жуковым, Г.В. Кувакиным, А.А. Лебедевым, В.И. Лезиным, Н.А. Пилипчуком [154, 155, 158, 159, 165]. Состояние прогнозных ресурсов никеля Камчатского региона в рамках специализированных исследований оценивалось В.А. Кучугановым, В.А. Полетаевым, Ю.М. Щепотьевым, А.Ф. Литвиновым [156, 166, 178].

Первые научные публикации о новом для Камчатки типе оруденения [11] и находке кортландитов [13] появились в 60-е годы. Исследования структурного положения образований никеленосной норит-кортландитовой формации, их геологии и геохимии, минералогии медно-никелевых руд проводили Т.Л. Евстигнеева [15], Г.В. Жегалова [19, 20], Э.Г. Конников [30], Г.Н. Старков [103], И.А. Тарарин [109], А.И. Ханчук [126], С.А. Щека [130]. В результате были рассмотрены различные аспекты формирования интрузий норит-кортландитовой формации и связанной с ними медно-никелевой минерализации, выявлен целый ряд поисковых критериев.

Качественно новый этап в изучении минералогии сульфидных медно-никелевых руд связан с появлением в 1975 году в Институте вулканологии ДВО РАН рентгеноспектрального микроанализатора САМЕВАХ-244. В.М. Округиным и В.М. Чубаровым были проведены первые прецизионные исследования минералогии руд Шанучского месторождения. В дальнейшем, благодаря возможностям микронзондовых исследований, которые проводились как в Институте вулканологии [109], так и в других научных организациях [30, 105, 106, 112], были получены новые данные о минералогии отдельных известных рудопроявлений никеля и массивов норит-кортландитовой формации.

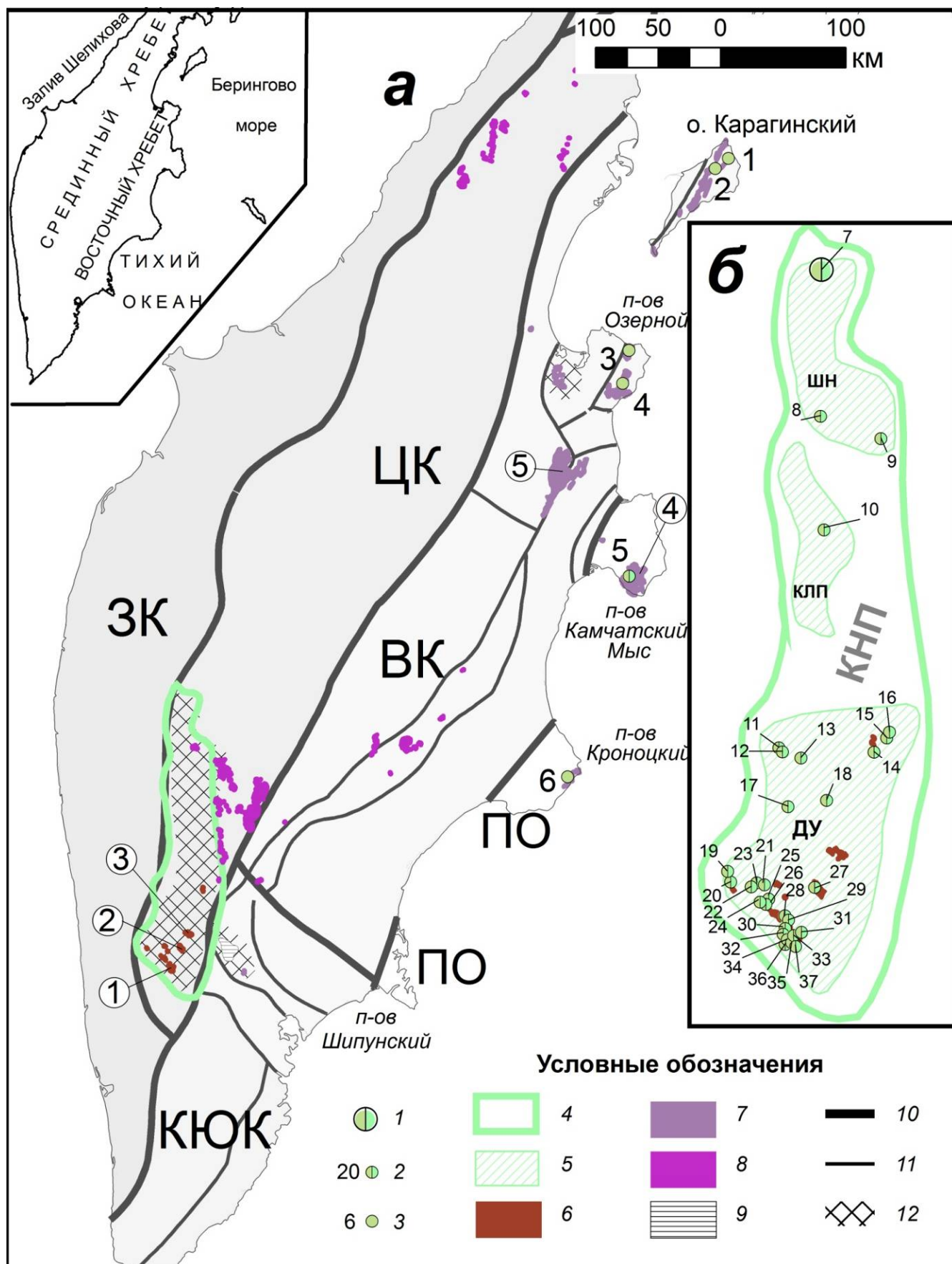


Рисунок 1. Схема расположения массивов мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки, проявлений и пунктов никелевой минерализации (а). Схема б – Камчатская никеленосная провинция (увеличенный фрагмент). Составлено по [25, 99, 114], с изменениями.

Условные обозначения (схемы а и б). 1 – медно-никелевое месторождение Шануч; 2, 3 – рудопрооявления и пункты минерализации, их номера (2 – медно-никелевые, 3 – медные с никелем); 4 – Камчатская никеленосная провинция (КНП, по Трухин, Степанов, 2008); 5 – рудные районы: Шанучский (ШН), прогнозируемые Колпаковский (КЛП) и Дукукский (ДУ); 6–8 – массивы мафит-ультрамафитовых плутонических формаций, (6 – норит-кортландитовой, 7 – дунит-гарцбургит-габбровой, 8 – дунит-клинопироксенит-габбровой); 9 – Юрчикский массив; 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; 12 – блоки метаморфических пород.

Номера рудопрооявлений 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 – Кувалорог, 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: Кувалорогский (1), Дукукский (2), Пеницкий (3). Дунит гарцбургит-габбровая: массив горы Солдатской (4), Кротонский (5).

Планомерные научные исследования никеленосных объектов Камчатки связаны с работами НИГТЦ ДВО РАН. Благодаря усилиям Ю.П. Трухина, возглавлявшего институт с момента основания до 2014 года, с 1995 года в сотрудничестве с геологами ЗАО НПК «Геотехнология» проводились комплексные геологические, металлогенические, петрологические, геохимические, минералогические, геофизические, геоэкологические исследования месторождений и рудопрооявлений Камчатской никеленосной провинции. Собранные в результате полевых исследований материалы систематизированы в коллекции, хранящейся в НИГТЦ ДВО РАН. Результаты аналитических исследований положены в основу сформированной на предприятии базы данных по никеленосным объектам региона. Ю.П.Трухиным, В.А. Степановым, М.Д. Сидоровым, В.Е. Кунгуровой, О.Б. Се-

лянгиным, В.А. Полетаевым, А.А. Алискеровым опубликован ряд работ, касающихся металлогении, поисковых критериев, геохимии, минералогии руд и пород Шанучского месторождения, рудопроявлений в южной части КСМ, а также геофизических характеристик, петрологии, геохимии и особенностей составов породообразующих минералов массивов норит-кортландитовой формации [39, 40, 41, 85, 86, 87, 88, 97, 95, 96, 105, 106, 114, 115, 116]. Часть исследований была проведена совместно со специалистами ИМГРЭ [153]. Значительный объем полученных данных по геохимии и минералогии руд и пород, использованных в настоящей диссертационной работе, хранится в виде производственных отчетов [137, 170, 171, 172, 173, 174] в фондах НИГТЦ ДВО РАН и в базах данных [68].

В процессе исследований медно-никелевых руд неоднократно поднимался вопрос о значении сингенетических и эпигенетических процессов в рудообразовании, что имеет принципиальное значение для выбора концепции проведения поисковых и геологоразведочных работ. Практически все исследователи подчеркивают исходно магматогенный генезис рудной минерализации. С.А. Щекой, Д.А. Додиныным, М.М. Чернышовым [14] предполагается, что образование месторождений Шанучского типа связано с ликвационными процессами при формировании никеленосных расслоенных интрузий. И.А. Тарарин и В.М. Чубаров связывают формирование рудных залежей с процессами магматической дифференциации и сульфуризации дифференциатов ультраосновной магмы под воздействием флюидов, концентрирующихся на фронте кристаллизации в процессе становления массивов норит-кортландитовой формации [109, 112].

Поиски промышленных медно-никелевых руд магматического происхождения в крупных массивах норит-кортландитовой (размером до 30 км²) пока не увенчались успехом. Проведенное в семидесятые годы прошлого века глубокое бурение для обнаружения их донных залежей в пределах крупного Кувалорогского массива, а также геолоразведочные работы, выполненные ЗАО НПК «Геотехнология» в последнее время, не дали результата. Это породило мнение, что богатые руды связаны именно с мелкими телами норит-кортландитовой формации, которые обычно приурочены к зонам глубинных разломов и претерпели значительные

эпигенетические преобразования. По В.А. Полетаеву формирование оруденения происходило полигенным и полихронным способом в магматический и метаморфический этапы [76]. Им выделены три типа метаморфизма – автометаморфизм, региональный зеленосланцевый и гидротермальный [77, 76]. При этом, формирование богатых эпигенетических руд он связывает с перераспределением рудного вещества рудоносными растворами на этапе регионального зеленосланцевого метаморфизма прежде всего в зонах глубинных разломов. Б.И. Сляднев и В.Н. Шاپоваленко также указывают на сложный генезис промышленной медно-никелевой минерализации. Они предполагают, что руды, сформировавшиеся на больших глубинах в результате ликвации, были отжаты вместе с магмой в верхние горизонты коры и в дальнейшем переотложены вследствие метасоматической и гидротермальной переработки [100]. Сингенетический и эпигенетический типы медно-никелевого оруденения отмечены Т.Л. Евстигнеевой, которая отмечает, что богатое эпигенетическое оруденение приурочено к зонам тектонических нарушений [15]. Г.В. Жегалова наряду с магматическими типом оруденения предполагает наличие руд гидротермального и метасоматического генезиса [19]. Значение магматогенных процессов для формирования богатых промышленных руд нашло свое прямое подтверждение при исследованиях рудного тела на участке Восточно-Геофизическом Шанучского рудного поля, где эпигенетические ассоциации рудных минералов имеют подчиненное значение [87, 114].

На востоке Камчатки, в результате поисково-съёмочных работ и тематических исследований были обнаружены пункты минерализации и рудопроявления никеля, связанные с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации. На полуострове Камчатский Мыс, в гипербазитовом массиве г. Солдатской [7, 12, 141], установлена сингенетическая медно-никелевая минерализация, промышленное значение которой пока неясно. На о-ве Карагинском и на п-ове Озерном (Восточная Камчатка) были исследованы проявления сульфидных с никелем и кобальтом медных руд, приуроченные к блокам гипербазитов дунит-гарцбургит-габбровой формации в зонах серпентинитовых меланжей. Рудопроявления известны с 60–70-х годов прошлого века благодаря работам С.А. Мельниковой [162,

161], Б.К. Долматова [147], Г.И. Родных [167], Б.И. Сляднева [99, 168], Е.Г. Сидорова [92], А.Ф. Литвинова [160], Ю.В. Назимовой [59], В.М. Округина [71] (рис. 1). Объекты рассматривали в качестве рудопроявлений медно-никелевой формации, генетически связанной с ультрамафитами дунит-гарцбургит-габбровых массивов [57], косвенно сравнивали с медно-никелевыми рудами Камчатской никеленосной провинции [3], относили к условной сульфидной никелево-меднорудной [99] и к медноколчеданной формациям [65, 178].

Минералогия и геохимия массивов дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций исследовались в процессе геологического картирования, в ходе поисковых работ в связи с их потенциальной платиноносностью, а также с целью геолого-петрологических построений. Данные о составе минералов и пород образований дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций приведены в работах З.Г. Бадрединова, М.Е. Бояриновой, В.В. Велинского, В.А. Колоскова, Э.Г. Конникова, Г.В. Ледневой, Б.А. Марковского, А.Б. Осипенко, В.А. Полетаева, М.В. Портнягина, В.К. Ротмана, Д.П. Савельева, Е.Г. Сидорова, А.Г. Симакина, И.А. Тарарина, Н.Д. Толстых, Г.Б. Флерова, А.И. Ханчука, В.М. Чубарова. При этом были проанализированы содержания никеля как в минералах [34, 51, 62, 66, 73, 74, 90, 121, 140], так и в породах [27, 28, 34, 72, 90, 121, 126]. В работах Е.Г. Сидорова и Н.Д. Толстых, посвященных минералогии платиновых и золотых с платиноидами россыпей [136], а также в ряде производственных отчетов [163] приведены сведения о составе аваруитов и сульфидов никеля, связанных с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации.

Для отдельных магматических комплексов региона получены оценки средних содержаний никеля в породах и породообразующих минералах [9, 34, 112]. В то же время, целенаправленных обобщений такого рода для сравнительного анализа содержаний никеля в породах и минералах из образований различных мафит-ультрамафитовых формаций в Камчатском регионе не проводилось.

Минералогия и геохимия ультраосновных вулканитов Камчатки, находящихся в тесной пространственной ассоциации с образованиями мафит-

ультрамафитовых магматических формаций (в том числе, содержание никеля в минералах и породах), исследованы В.А. Колосковым, Г.Б. Флеровым [28], Э.Г. Конниковым [29], Г.В. Ледневой [4], Б.А. Марковским, В.К. Ротманом [51, 54, 52], Д.П. Савельевым, [81, 83], Е.Г. Сидоровым [91], А.Г. Симакиным, Э.Г. Конниковым [98], И.А. Тарариным, З.Г. Бадрединовым, В.М. Чубаровым [113, 110, 111], Г.Б. Флеровым [121, 122, 124], А.И. Ханчуком [126], М.В. Портнягиным [135]. Эти публикации не касаются темы никеленосности, но содержат аналитические данные о концентрациях никеля в минералах и породах. Отдельно следует указать работу Б.А. Марковского и В.К. Ротмана, посвященную геологии и петрологии ультраосновных вулканитов Камчатки, где рассмотрена проблема никеленосности ультраосновного вулканизма [52].

Целью работы является исследование особенностей формирования никелевой минерализации и рудогенеза в plutonic 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 никеля в рудах, породах, рудных и породообразующих минералах норит-кортландитовой, дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой plutonic формаций Камчатки.
- Исследование особенностей никелевой минерализации месторождений, рудопроявлений и пунктов минерализации 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 авторской геологической документации и аналитические данные, заимствованные из геологической литературы. В процессе подготовки диссертации были изучены образцы коллекции руд и пород из никеленосных объектов Камчатского региона, исследованы 189 шлифов, 50 аншлифов, обработаны 1333 количественных анализа руд и пород, 1163 микрозондовых анализа. 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 базируется на формационном подходе, геохимических, металлогенических и минералогических исследованиях. В плутонических мафит-ультрамафитовых формациях региона оценены и сопоставлены между собой содержания никеля, сопутствующих меди и кобальта в магматических породах, породообразующих и рудных минералах. Изучена минералогия рудных минеральных ассоциаций различной формационной принадлежности. В качестве эталонных рассмотрены никеленосные объекты Шанучского рудного поля, Кувалорог-

ской интрузии и ее обрамления, а также массивы гипербазитов п-ва Камчатский Мыс, с которыми связана сульфидная и самородная никелевая минерализация. В пределах отдельных выбранных участков исследованы пространственные взаимоотношения и вещественный состав руд и пород с сульфидной медно-никелевой минерализацией, оценены фоновые содержания никеля и сопутствующих компонентов в минералах и породах. Методом сравнительного анализа обоснованы объекты-аналоги рудопроявлений никеля Восточной Камчатки.

Содержания меди, никеля и кобальта в рудах и породах определялись методами масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборах Agilent 7500с в ДВГИ ДВО РАН и Elan 6100 DRC в ИМГРЭ; атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) на ICAP-9000 в ГЕОХИ РАН, а также атомно-абсорбционным методом – на атомно-абсорбционном спектрометре «Shumadzu AA-6300» в НИГТЦ ДВО РАН и рентгенофлуоресцентным – на рентгенофлуоресцентных спектрометрах S4 PIONEER в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН и в ДВГИ ДВО РАН. В ЦЛ ОАО «Камчатгеология» проводились определения элементов платиновой группы химико-спектральным методом, а также определение золота по методике НСАМ «Атомно-эмиссионное определение золота в геохимических пробах с экстракционным концентрированием органическими сульфидами».

Минералогические исследования выполнялись в ИВиС ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе «Camebax-244» с энергодисперсионным спектрометром «Kevex» (позднее был укомплектован энергодисперсионным спектрометром X-MAX) и на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром X-Max. Часть исследований выполнена в ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 и аналитическом сканирующем электронном микроскопе EVO 50XVP (Carl Zeiss) с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350 (Oxford Instruments), а также в ИЭМ РАН на CamScan-2300 с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором на полупроводниковом Si(Li)-детекторе Link-IMSA.

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 плутонических мафит-ультрамафитовых комплексов Камчатки различной формационной принадлежности.

Прослежены эмпирические закономерности распределения и соотношений Ni, Co и Cu в породах мафит-ультрамафитовых плутонических формаций Камчатки. Для пород дунит-клинопироксенит-габбровой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций установлено снижение концентраций Ni и Co и возрастание содержания 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.

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 рудопроявления 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, рудопроявлений 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 рудопроявлений норит-кортландитовой формации. В *четвертой главе* дана характеристика геологического строения, минералогии, геохимии руд отдельных рудопроявлений и пунктов минерализации никеля в образованиях дунит-гарцбургит-габбровой и формации, проведен сравнительный анализ рудопроявлений 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 ФГУПП «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. Филосовой, В.М. Чубарову, А.С.Шишову.

Глава 1. Мафит-ультрамафитовые формации Камчатки

Обязательное условие формирования месторождений никеля – наличие изверженных пород основного и ультраосновного состава с его высоким фоновым содержанием. В регионе известны три типа мафит-ультрамафитовых формаций, для ультраосновных и основных пород которых характерны повышенные кларки концентрации никеля: норит-кортландитовая, дунит-гарцбургит-габбровая и дунит-клинопироксенит-габбровая. Для plutonic образований этих формаций с различной степенью достоверности реконструируется разрез, в основании которого находятся ультраосновные породы, сменяющиеся к верхней части разностями основного и далее среднего состава. В ряде случаев с plutonic комплексами ассоциируют вулканогенные и гипабиссальные образования преимущественно основного, реже – ультраосновного состава, для которых также характерно повышенное содержание никеля. Их соотношения с глубинными породами в основном дискуссионны из-за интенсивных тектонических преобразований, наложенных изменений и отсутствия прослеженных контактов.

1.1. Норит-кортландитовая формация

Представлена интрузиями дукусского комплекса [100] в пределах Камчатского срединного массива (КСМ, рис. 1) метаморфических пород. Интрузии приурочены к глубинным разломам КСМ, проявленным в виде региональных зон горизонтальных градиентов поля силы тяжести [94]. Известны как крупные массивы (до 30 км²) – Дукусский, Кувалорогский, Пеницкий, так и многочисленные мелкие пластообразные и штокообразные тела мощностью десятки-сотни метров [76]. Интрузии сложены гранатсодержащими диоритами, диоритами, норитами, габбро-норитами, ортопироксенитами, горнблендитами и коротландитами. Проявлена дифференциация, в результате которой нижняя часть интрузий образована породами преимущественно ультраосновного и основного, верхняя – основного и среднего составов. Иногда наблюдается ритмичная расслоенность. Вмещающими являются апотерригенные кристаллические сланцы и гнейсы колпаковской и камчатской серий и сланцы хейванской свиты. В результате ассимиляции вмещаю-

щих образований интрузивные породы насыщены графитом. Наложенные изменения обусловлены аутометасоматическими и гидротермальными процессами [85, 86, 87]. 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. Отмечаются гранатиты [30, 100]. Иногда роговики содержат пирротин.

В пределах КСМ с интрузиями дукукского комплекса пространственно ассоциируют образования алисторского вулканического и андриановского плутонического комплексов основного-ультраосновного состава, образующие изолированные поля. С ними также связаны пункты минерализации и ореолы рассеяния никеля [100, 113]. Возраст и соотношения перечисленных вулканических образований и интрузий, часто измененных и метаморфизованных, дискуссионны. В настоящее время принят позднемеловой возраст дукукского и алисторского комплексов и раннепалеозойский – андриановского [34, 100]. Есть данные изотопного датирования, которые свидетельствуют о палеоценовом [30], эоценовом возрасте дукукского комплекса [94, 100, 107, 115] и маастрихтском – андриановского [100]. Отдельные исследователи на основании изучения вещественного состава делают предположение о генетическом сходстве образований андриановского, алисторского и дукукского комплексов [98].

1.2. Дунит-гарцбургит-габбровая формация

Представлена массивами карагинского плутонического комплекса ранне-позднемелового возраста [99] в пределах Восточно-Камчатской структурно-формационной зоны (СФЗ, рис. 1). Они приурочены к локальным поднятиям, областям перепадов мощности земной коры и крупным региональным разломам. Никелевая минерализация связана с массивами гипербазитов. Отмечаются как крупные тела площадью до 50 км² (рис. 1), 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 в основном проявляются в серпентинизации ультраосновных пород. Границы с вмещающими образованиями тектонические. В зонах контактов помимо серпентина развиваются пектолит, ксонотлит, цеолиты, карбонат. Для вмещающих пород характерны родингитизация, пренитизация, альбитизация.

С массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации тесно связаны позднемеловые вулканы нижних частей разрезов вулканогенно-кремнистых толщ Восточных хребтов, полуостровов Озерной, Камчатский Мыс и острова Карагинский. Вместе с plutonic образованиями они входят в состав офиолитовых ассоциаций [7, 34, 118, 119, 127].

1.3. Дунит-клинопироксенит-габбровая формация

Массивы дунит-клинопироксенит-габбровой формации развиты в пределах Центрально-Камчатской и Восточно-Камчатской СФЗ (рис. 1). Они приурочены к локальным поднятиям, областям перепадов мощности земной коры и крупным региональным разломам. Формация представлена дифференцированными массивами дунитов, перидотитов, клинопироксенитов и габбро, умеренно-щелочных пироксенитов и габбро, монцогаббро, шонкинитов, монцонитов и сиенитов [100]. Контакты с вмещающими породами интрузивные и тектонические. Приконтактовые изменения связаны с фосфор-калиевым метасоматозом [34, 79, 100, 123, 124, 120]. Несмотря на то, что породы умеренно-щелочного и щелочного подотрядов нередко образуют самостоятельные массивы, комплекс данных свидетельствует об их формировании в рамках единой магматической системы с породами нормальной щелочности [50]. При этом, возраст дунитов, клинопироксенитов и габброидов оценивается как позднемеловой и с ними сопоставляется часть вулканитов основного состава ирунейской свиты. Умеренно-щелочные разности рассматриваются как более поздние образования маастрихт-датского возраста [8, 34, 60]. С ними ассоциируют маастрихт-датские вулканы основного и ультраосновного состава нормального, умеренно-щелочного и щелочного подотрядов [8, 34, 52, 53,

100, 124, 120], а также дайки шприсгеймитов [52; 122], флогопитовых перидотитов [8, 34, 79, 60, 100].

1.4. Никелевые месторождения, рудопроявления и минерализация в мафит-ультрамафитовых плутонических формациях Камчатки

1.4.1. Норит-кортландитовая формация

С интрузиями норит-кортландитовой формации связаны месторождение и перспективные проявления сульфидных кобальт-медно-никелевых руд, локализованные в Камчатской никеленосной провинции (КНП), которая охватывает выступ метаморфических образований Срединного хребта (рис. 1, [77, 76, 114]). Никеленосные объекты сосредоточены в двух рудных районах – Шанучском и прогнозируемом Дукукском (рис. 1). Прогнозируется также Колпаковский рудный район, который пока слабо изучен [114]. На Шанучском рудном поле расположены рудные тела месторождения Шануч (в том числе, на участке Восточно-Геофизическом) и ряд рудопроявлений (преимущественно с убоговкрапленной минерализацией) [117]. Шанучское месторождение относится к мелким с богатыми рудами (табл. 2). Около 26 медно-никелевых рудопроявлений сосредоточено в Дукукском рудном районе вблизи южной оконечности КСМ: Аннабергитовая Щель, Квинум I, Квинум II, Тундровое, Оленье, Северное, Мокушка и др. (рис. 1). Все объекты относятся к сульфидному медно-никелевому геолого-промышленному типу. По структурно-текстурным особенностям выделяются массивные, брекчиевые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды. Руды богатые. Оценки средних содержаний полезных компонентов в разных типах руд из различных объектов варьируют от 2 до 5,41 масс.% никеля, от 0,48 до 1,08 масс.% меди и от 0,06 до 0,13 масс.% кобальта (табл. 1). Главные рудные минералы – пирротин, пентландит, халькопирит, виоларит и пирит. Прогнозные ресурсы никеля 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. Прогнозные ресурсы Камчатской никеленосной провинции составляют более 1 млн. т никеля (табл. 2).

Таблица 1. Оценка средних содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта в рудах отдельных проявлений, связанных с мафит-ультрамафитовыми формациями Камчатки

Формация	Проявление, рудное тело	Типы руд	Кол-во анализов	Оценка среднего содержания, масс. %			Ni/Cu	Ni/Co	[ссылка на источник]	Метод анализа
				Ni	Cu	Co				
Норит-коргландитовая	Шанучское рудное поле, месторождение Шануч, рудное тело № 1	Массивные, вкрапленные и брекчиевые		5,41	0,85	0,13	6,4	41,6	[105]	Атомно-абсорбционный
	Шанучское рудное поле, участок Восточно-Геофизический	Массивные и брекчиевые	129	3,64	1,08	0,11	3,4	33,1	[61]	Атомно-абсорбционный
		Вкрапленные	32	2	0,48	0,06	4,2	33,3		Атомно-абсорбционный
		Прожилково-вкрапленные	71	2,05	0,58	0,07	3,5	29,3		Атомно-абсорбционный
Дунит-гарцбургит-габровая	Проявление «Монолитное-1»	Выщелоченные руды		0,1–1	1,16	0,001–0,01	~ 0,5	~ 100	[57]	Химический, спектральный
	Проявление «Маркеловское»	Прожилково-вкрапленные, гнездовые и массивные		0,2	0,7	0,03–0,06	~ 0,3	~ 4	[99, 168]	Химический, спектральный
	Проявление «Рыцарь» (п-ов Озерной)	Массивные, прожилково-вкрапленная минерализация		0,2–0,3	0,3–5,1	—	~ 0,1	—	[160, 169]	Химический, спектральный

Таблица 2. Оценки прогнозных ресурсов никеля и сопутствующих меди и кобальта в металлогенических подразделениях и отдельных рудопрооявлениях Камчатского региона

Формация	Рудно-формационный тип	Геолого-промышленный тип	Полезн. компоненты	Оценка прогнозных ресурсов													
				Металлогенические подразделения	Площадь, км ²	Глубина подсчета, м	Ni, тыс. т			Cu, тыс.т			Co, т			Автор оценки [ссылка на источник]	
							P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃		
Норит-кортландитовая	медно-никелевый	сульфидный медно-никелевый	Ni, Cu, Co (Pt, Ir, Rh, Pd)	Камчатская никеленосная провинция (зона)					>1000							[114]	
									>1000							[76]	
				Шанучский рудный район													
					Шанучское медно-никелевое рудное поле	49	300	120	160	100	20	58	30	1,4	11	10	[100]
				Дукукский прогнозируемый медно-никелевый рудный район (узел)	806				676	222		282	63		40	8	[100]

Формация	Рудно-формационный тип	Полезн. компоненты	Оценка прогнозных ресурсов												
			Металлогенические подразделения	Площадь, км ²	Глубина подсчета, м	Ni, тыс. т			Cu, тыс.т			Co, т			Автор оценки [ссылка на источник]
						P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	
Дунит-гарцбургит-габбровая	Не определен (медно-никелевая [57, 3], условная сульфидная никелево-меднорудная [99], медноколчеданная [65, 178]).	Cu, Ni, Zn, Au (Pt, Pd)	Карагинская прогнозируемая ртутно-меднорудная зона (узел)							1590					[57]
							250						27		[156]
				830						1500					[168]
				830						1590					[99]
				863				300			2300				[178]
										1000					[178]*
			Маркеловское (Карагинское) прогнозируемое рудное поле	33						250					[178]*
			Рудопроявление «Маркеловское»	0,11	100–200					110					[57]
							155			112			18,6		[156]
										210					[168]
										210					[99]
			Рудопроявление «Монолитное»	0,4	100–200					337					[57]
										130			8,3		[156]
					300					755					[168]
					300					755					[99]
			Рудопроявление «Железное»	0,24	300					350					[57]
										450					[156]
										625					[168]
										625					[99]

* Примечание. Протокол №28 от 25.06.13 (ЦНИГРИ).

1.4.2. Дунит-гарцбургит-габбровая формация

Содержащие никель и кобальт проявления медных руд на о-ве Карагинском и на п-ове Озерном (рис. 1) приурочены к блокам гипербазитов в зонах серпентинитового меланжа. Наиболее крупные рудопроявления расположены в Карагинской прогнозируемой ртутно-меднорудной зоне (рис. 1). Проявления «Монолитное», «Маркеловское» и «Железное» сближены и объединяются в потенциальное Маркеловское (Карагинское) рудное поле [99]. По данным геолого-съемочных и поисковых работ сульфидные руды представлены окисленными с поверхности прожилково-вкрапленными и массивными разностями. Неокисленные руды содержат от 5,4 до 10,5 % меди, окисленные – от 0,1 до 17,2 %, в среднем – 1,38 %. Содержания никеля – от 0,2 до 0,7 %, кобальта – от 0,05 до 0,1 %, – цинка от 0,13 до 5,26 %, золота и платиноидов – от десятых до первых грамм на тонну, серебра – от первых до сотен грамм на тонну [57, 65, 99, 162, 161, 169]. Формационный тип руд однозначно не определен. По данным поисково-разведочных работ, рудные минералы в проявлениях представлены халькопиритом, пирротинном, магнетитом, пентландитом, пиритом, сфалеритом [147, 162, 161, 167, 160]. В то же время, Ю.В. Назимовой, исследовавшей проявления Маркеловское и Монолитное, приводятся несколько иной состав рудной минеральной ассоциации. Сульфидные руды сложены халькопиритом, пиритом, кубанитом, сфалеритом, магнетитом, бравоитом, виоларитом, макинавитом, электрумом [59]. Прогнозные ресурсы меди Карагинской прогнозируемой ртутно-меднорудной зоны оцениваются от 1000 до 2300 тыс. т, никеля – от 250 до 300 тыс. т., кобальта – 27 т. Ресурсы меди по Маркеловскому рудному полю по разным оценкам составляют от 110 до 755 тыс. т, никеля – до 155 тыс. т. Так как содержания никеля в сульфидных рудах в целом невысоки, ряд авторов исключает его из рассмотрения при прогнозной оценке отдельных проявлений и металлогенических подразделений (табл. 2). По оценкам масштабов оруденения рудопроявления могут соответствовать мелким, возможно, средним месторождениям меди и мелким – сопутствующим никеля и кобальта [156].

1.4.3. Прочие проявления никелевой минерализации

В оливиновых вебстеритах из массива дунит-гарцбургит-габбровой формации на полуострове Камчатский Мыс известен пункт с самородно-сульфидной медно-никелевой минерализацией [7, 64, 62, 82, 141]. Главными рудными минералами являются пентландит, медно-никелевые сульфиды и самородная медь. Отмечаются минералы платиноидов. Содержание никеля составляет 0,64 %, меди – 0,14 %, кобальта – 0,012 % [7, 64, 62, 141]. По данным М.Е. Бояриновой, породы содержат до 0,63 г/т платиноидов [7, 141].

Рудопоявление неясной формационной принадлежности в междуречье Большая-Буй на п-ове Кроноцком связано с контактом массивов гипербазитов и габбро. В зоне, протяженность которой составляет около 500 м, а мощность 1-2 м отмечена вкрапленность, прожилки и шлиры сульфидов. Диагностированы кварц (90%), халькопирит, тенорит, борнит, пирротин, халькозин, куприт, а также минералы никеля – пентландит и виоларит [25].

В массивах дунит-гарцбургит-габбровой формации широко распространена аваруитовая минерализация, связанная с серпентинитами.

Кроме норит-кортландитовой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций, ультраосновные и основные разности плутонических пород в Корякско-Камчатском регионе распространены в массивах дунит-клинопироксенит-габбровой формации. Содержания никеля в дунитах и породообразующих оливинах ниже, чем в породах дунит-гарцбургит-габбровой формации [43]. Известны ассоциирующие с платиноидами аваруиты и никелевые серпентины непуитлизардитового ряда, содержащие до 26,96 масс.% никеля [90], которые образуются в результате серпентинизации гипербазитов.

Убогая никелевая минерализация установлена в интрузиях юрчикского габброноритового комплекса (рис. 1, [100]), который в ряде случаев сопоставляют с образованиями никеленосной норит-кортландитовой формации [24]. Комплекс развит в пределах ганальского блока метаморфических пород и, по последним данным, имеет миоценовый возраст [32]. При этом, юрчикские интрузии отлича-

ются от никеленосных образований норит-кортландитовой формации по ряду минералогических, геохимических и геофизических характеристик [32, 94].

Отдельные пункты никелевой минерализации, а также ореолы рассеяния никеля связаны с вулканическими комплексами, тесно ассоциирующими с плутоническими образованиями мафит-ультрамафитовых формаций. В составе этих комплексов отмечаются разности ультраосновного и основного состава. Ряд пунктов никелевой минерализации, а также ореолы рассеяния никеля связаны с метавулканиками ультраосновного и основного состава алисторского пикрит-базальтового и андриановского метаморфического комплексов [100], которые пространственно ассоциируют с массивами норит-кортландитовой формации в пределах Камчатского срединного массива. Пентландит установлен в пикритах смагинской свиты, которая вместе с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации представляет собой фрагмент офиолитовой ассоциации [82]. Сульфидные выделения в пикритах представляют собой шарики размером до 0,3 мм, сложенные халькопиритом и пентландитом, реже – пирротинном. Содержание никеля низкое и составляет от 0,12 % до 0,14 % (в среднем – 0,13 %) [80, 83]. В различной степени измененных ультраосновных вулканитах, ассоциирующих с телами дунит-клинопироксенит-габбровой формации Камчатки [52], отмечены эпигенетические миллерит и пентландит [84].

Наиболее высокие содержания никеля в регионе характерны для сульфидных руд медно-никелевой рудной формации месторождений и рудопроявлений КНП, связанных с норит-кортландитовыми интрузиями. Оценки его среднего содержания в различных типах неокисленных руд из разных рудопроявлений варьируют от 2 до 5,41 масс.% (табл. 1). По сравнению с ними в медных с никелем и кобальтом рудах из блоков гипербазитов дунит-гарцбургит-габбровой формации в зонах серпентинитового меланжа Восточной Камчатки содержания никеля на порядок более низкие (0,2–0,3 масс.%). Соотношения никеля и меди в месторождении и рудопроявлениях КНП, связанных с норит-кортландитовой формацией варьируют от 3,4 до 6,4, а в проявлениях медных с никелем и кобальтом руд Маркеловского рудного поля, где медь резко преобладает, – от 0,1 до 0,5 (табл. 1).

Высокие прогнозные оценки ресурсов никеля и кобальта в Камчатском регионе также связаны с месторождением и рудопроявлениями медно-никелевой рудной формации в норит-кортландитовых интрузиях (табл. 2). В таблице 3 представлен сравнительный анализ оценок ресурсов по прогнозируемым Дукусскому медно-никелевому рудному узлу и Карагинской ртутно-меднорудной зоне. Эти металлогенические подразделения имеют почти одинаковую площадь, но их рудоносность связана с объектами разной формационной принадлежности. Прогнозные ресурсы никеля Дукусского рудного узла в 3–4, а кобальта – в 10 раз выше, чем в Карагинской рудной зоне (табл. 3). При этом, оценка количества меди в Карагинской зоне в шесть раз больше, чем в Дукусском узле. Отношения прогнозных ресурсов никеля к ресурсам меди Дукусского рудного узла составляет 2,6, никеля к кобальту – 18,7. В Карагинской рудной зоне отношение ресурсов никеля к ресурсам меди – 0,1, к ресурсам кобальта – 9,3 (табл. 3).

Таблица 3. Сравнительная характеристика оценок прогнозных ресурсов никеля и сопутствующих меди и кобальта металлогенических подразделений, связанных с никелевыми объектами в различных мафит-ультрамафитовых плутонических формациях Камчатки

Параметры	Прогнозные ресурсы			Ni/Cu	Ni/Co	Ссылка на источник
	Ni, тыс.т	Cu, тыс.т	Co, т			
Норит-кортландитовая формация						
Дукусский прогнозируемый медно-никелевый рудный узел, S=806 км ²						
P ₂	676	282	40	2,4	16,9	[100]
P ₃	222	63	8	3,5	27,8	
Сумма ресурсов	898	345	48	2,6	18,7	
Удельная продук- тивность, т/км ²	1,1	0,4	0,1			
Дунит-гарцбургит-габбровая формация						
Карагинская прогнозируемая ртутно-меднорудная зона (узел), S=863 км ²						
P ₂	250	1590	27	0,2	9,3	[156]
P ₃	300	2300		0,1		[178]
Удельная продук- тивность, т/км ²	0,3	1,8–2,7	0,03			

Глава 2. Содержания никеля, кобальта и меди в породах и минералах мафит-ультрамафитовых плутонических формаций Камчатки

2.1. Валовые содержания никеля, кобальта и меди в безрудных породах

Сравнительный анализ содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта в безрудных породах различной формационной принадлежности отражает механизмы магматогенного рудообразования.

В таблице 4 представлены фоновые содержания никеля, кобальта, меди и серы в безрудных разностях пород мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки и ассоциирующих с ними вулканитов. Для пород дунит-клинопироксенит-габбровой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций прослеживается снижение содержаний никеля и кобальта с уменьшением их магнезиальности и основности. Концентрация меди 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 (табл. 4). Полученный результат иллюстрирует возникновение условий для ликвации сульфидного расплава в процессе становления интрузивных образований норит-кортландитовой формации, при котором все три элемента концентрируются в сульфидах. При отсутствии ликвации сидерофильные никель и кобальт входят в состав минералов групп оливина и хромита-магнетита. Медь, которая обладает наибольшим сродством к сере, вместе с ней и более легкоплавкими компонентами накапливается в поздних дифференциатах.

Для безрудных ультраосновных пород норит-кортландитовой формации отмечается самое низкое, в сравнении с другими формациями, содержание никеля (табл. 4). С учетом никеленосности норит-кортландитовых интрузий это означает высокую степень концентрации никеля в сульфидных рудах. Сходная картина, но в отношении меди отмечается для основных пород щелочного и умеренно-щелочного подотрядов дунит-клинопироксенит-габбровой формации. При срав-

нительно низком ее содержании в безрудных породах, с массивами умеренно-щелочного состава и комагматичными им субвулканическими телами базальт-трахибазальт-трахиандезитовой формации связаны проявления титаномагнетит-борнит-халькопиритовых руд (табл. 4).

Таблица 4. Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO₃) в безрудных породах мафит-ультрамафитовых формаций региона и ассоциирующих с ними вулканитах

Магматические формации и ассоциирующие вулканиты		Тип пород	кпч. ан.	Ni, г/т	кпч. ан.	Co, г/т	кпч. ан.	Cu, г/т	кпч. ан.	SO ₃ , масс. %
вулканические породы										
вулканиты, ассоциирующие с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации	средние	5	29	5	16		н. д.	н. д.		
	основные	28	85	26	45	10	66	н. д.		
	ультраосновные	9	1250	9	116	5	65	н. д.		
вулканиты, ассоциирующие с умеренно-щелочными разностями пород массивов дунит-клинопирок.-габбровой формации	кислые	4	10	4	8		н. д.	н. д.		
	средние	24	18	24	22		н.д.	н. д.		
	основные	29	44	29	33	13	106	н. д.		
	ультраосновные	22	1150	22	92	5	48	н. д.		
вулканиты, ассоциирующие с массивами дунит-клинопирок.-габбровой формации	основные	46	62	8	34	4	91	н. д.		
	ультраосновные	2	231		н. д.		н. д.	н. д.		
вулканиты, пространственно ассоциирующие с массивами кортландит-норитовой формации	основные	36	186	36	62	30	80	н. д.		
	ультраосновные	18	1073	18	79	9	124	н. д.		
плутонические породы										
дунит-гарцбургит-габбровая	основные	9	156	9	50	9	60		0,04	
	клинопироксениты	1	460	1	70	1	30		0,003	
	ультраосновные	27	1894	16	62	27	15		—	
дунит-клинопирок.-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				
		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.
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	

-  *кобальт-медно-никелевые месторождения и рудопроявления*
 *рудопроявления и пункты минерализации титаномагнетит-борнит-халькопиритовых руд*

-  *медно-никелевая минерализация в оливиновых вебстеритах*
 *пункты минерализации меди в габброидах (Корякско-Камчатский регион..., 2002)*
 н. д. - нет данных

Примечание. При количестве анализов от 3 до 4 в качестве оценки среднего приняты средние арифметические значения содержаний. Остальное – медианы. Описательная статистика приведена в приложении. Составлено по собственным данным и по материалам из публикаций других авторов [27, 28, 30, 29, 34, 54, 72, 87, 90, 83, 98, 102, 113, 109, 110, 111, 121, 126, 135]. Методы аналитических исследований, использованных при расчетах: ISP MS, ISP AES, XRF, NAA.

С учетом недостатка данных (табл. 4), близкий результат дают оценки средних содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта в вулканитах. Для вулканитов, ассоциирующих с никеленосными норит-кортландитовыми интрузиями, отмечается снижение содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта от ультраосновных к основным породам.

2.2. Минералы никеля руд и пород мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки

Таблица 5. Минералы никеля в породах и рудах Камчатского региона.

Класс	Название минерала	Формула	ДГГ	ДКГ НР	НК	ДКГ УЩ	Генезис
Сульфиды	Гороманиит (?)	$(\text{Fe, Ni, Co, Cu})_9\text{S}_8$					Магматический
	Сугакиит (?)	$\text{Cu}(\text{Fe, Ni})_8\text{S}_8$					
	Пентландит	$(\text{Fe, Ni})_9\text{S}_8$					Магматический и гидротермальный
	Виоларит	$(\text{Ni, Fe})_3\text{S}_4$					
	Макинавит	$(\text{Fe, Ni})_9\text{S}_8$					
	Ni-пирит	$(\text{Fe, Ni})\text{S}_2$					
	Миллерит	NiS					
	Хизлевудит	Ni_3S_2					
	Полидимит	Ni_3S_4					
	Зигенит	$(\text{Co, Ni})_3\text{S}_4$					
	Шэндит	$\text{Pb}_2\text{Ni}_3\text{S}_2$					
Сульфоарсениды	Герсдорфит	$(\text{Ni, Co, Fe})\text{AsS}$					Гидротермальный
Арсениды	Раммельсбергит	NiAs_2					
	Саффлорит	$(\text{Co, Fe, Ni})\text{As}_2$					
	Никелин	NiAs					
Теллуриды, антимониды и сульфогалогениды	Мелонит	NiTe_2					
	Брейгауптит	NiSb					
	Ульманит	NiSbAs					
Самородные элементы	Аваруит	Ni_3Fe					
	Аваруит	Ni_2Fe					
Силикаты	лизардит-непуит	$(\text{Ni, Mg})_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$					
Сульфаты	Моренозит	$\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$					Гипергенный
	Рётгерсит	$\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$					
Арсенаты	Аннабергит	$\text{Ni}_3[\text{AsO}_4] \times 8\text{H}_2\text{O}$					

Примечание. Формации: НК – норит-кортландитовая, ДГГ – дунит-гарцбургит-габбровая, ДКГ (НР) – дунит-клинопироксенит-габбровая (породы нормального подотряда), ДКГ (УЩ) – дунит-клинопироксенит-габбровая (умеренно-щелочные разности пород). По [70].

Минералы никеля мафит-ультрамафитовых формаций представлены сульфидами и их аналогами (сульфоарсенидами, арсенидами, теллуридами, антимонидами и сульфоантимонидами), самородными металлами и сплавами, интерметаллическими соединениями, арсенатами, сульфатами и никельсодержащими серпентинами (табл. 5).

Незначительное (до первых процентов) количество изоморфного никеля содержится в магматогенных минералах групп хромита-магнетита и оливина, а также в ряде сульфидов, самородных металлов и сплавов преимущественно гидротермального и гидротермально-метасоматического происхождения. Наибольшее разнообразие никельсодержащих минералов связано с норит-кортландитовой формацией. При этом сульфиды установлены в образованиях всех формаций, а самородные фазы в наибольшей степени характерны для ультрамафитов дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой. Оценка содержаний никеля в минералах переменного состава выявила типоморфные особенности одинаковых минеральных видов из руд и пород различной формационной принадлежности.

Сульфиды и самородные фазы. Пентландиты и аваруиты из оливиновых вебстеритов дунит-гарцбургит-габбровой формации отличаются от аналогичных минералов из серпентинитов низким содержанием никеля (табл. 6), а также присутствием меди и отсутствием кобальта. Содержание никеля в аваруитах из массивов дунит-клинопироксенит-габбровой формации составляет 68,4 масс.%. В качестве примеси он отмечается в платиноидах. Наиболее высокое содержание зафиксировано в тетраферроплатине – до 10,4 масс.% и в туламините – до 2,8 масс.% (данные по платиноносным массивам Корякии [90]). Повышенная концентрация никеля является признаком принадлежности сульфидов переменного состава (пентландитов, пирротинов и пиритов) к никеленосным интрузиям коротландит-норитовой формации. Содержание составляет (в масс.%): 33,3–34,1 в пентландитах, 1,67 в гексагональных пирротинах и 2,9 в пиритах (табл. 6).

Таблица 6. Оценка содержаний никеля в сульфидах и самородных металлах из пород и руд, связанных с различными геологическими формациями

Магмат. формация	Класс или группа минералов	Название минералов	Примеч.	Генезис	Кол-ч. анализов	Оценка сод. Ni, масс. %	Среднее сод. Ni, масс. %	Медиана сод. Ni, масс. %	min Ni, масс. %	max Ni, масс. %	Нижний квартиль	Верхний квартиль	Станд. откл.	Коэфф-ц. вариации	Дисперсия
дунит-гарцбургит-габбровая	самородные металлы	аваруит	в серпент.	гидротер.	44	75.39	75.50	75.39	65.02	86.39			3.29	0.04	10.80
			в ол. вебст.	магмат.	13	64.15	63.63	64.15	54.84	70.36			4.90	0.08	23.98
		уайрауит		гидротер.	2	5.40	5.40		4.52	6.27					
		самор. медь		гидротер.	10	2.59	3.00	2.59	0.51	6.36	0.71	5.86	2.33	0.78	5.42
	сульфиды	пентландит	включения в аваруите	гидротер.	14	29.97	29.98	29.97	24.22	34.69			2.95	0.10	8.73
			в ол. вебст.	магмат.	22	24.89	25.27	24.89	19.14	36.97			3.30	0.13	10.90
			в пикритах	магмат.	4	18.49	18.49		17.73	19.54					
		гороманит	в олив.	магмат.	8	20.24	18.95	20.24	8.49	25.63			5.94	0.31	35.28
		сугакиит	в олив.	магмат.	3	17.01	17.01		12.71	21.89					
		пирротин		магмат.	2	1.01	1.01		0.23	1.78					
дунит-клинопироксенит-габбровая	самородные металлы	аваруит		гидротер.	35	68.42	65.42	68.42	21.59	72.25			9.13	0.14	83.45
		уайрауит		гидротер.	3	1.21	1.21		0.41	1.73					
		самор. медь		гидротер.	3	0.83	0.83		0.39	1.54					
	сульфиды	пирротин		гидротер.	3	0.07	0.07		НПО	0.22					
		пирит		гидротер.	13	НПО			НПО	0.12					
кортландит-норитовая	сульфиды	пентландит	массивный	магмат.	74	34.10	32.08	34.10	11.56	38.68			5.59	0.17	31.24
			вросстки в пирротине	магмат.	8	33.34	32.83	33.34	28.95	36.26			2.99	0.09	8.96
		аргентопентландит		гидротер.	7	19.58	20.13	19.58	18.90	23.11			1.53	0.08	2.33
		виоларит		гидротер.	110	28.53	28.74	28.53	13.59	35.85			4.15	0.14	17.24
		пирит		гидротер.	52	2.86	2.52	2.86	0.15	4.94	1.50	3.37	1.33	0.53	1.78
		пирротин	гексагон.	магмат.	83	1.67	1.76	1.67	1.10	3.18			0.49	0.28	0.24
			монокл.	магмат.	19	0.50	0.49	0.50	0.02	1.05	0.18	0.82	0.34	0.69	0.12

Примечание. НПО – ниже предела обнаружения. При количестве анализов от 2 до 4 в качестве оценки среднего приняты средние арифметические значения содержаний. Остальное – медианы. При коэффициентах вариации более 0,3 вычислены нижний и верхний квартили. По [70], с изменениями.

Оливины и шпинелиды. Концентрация никеля в оливинах (до 0,33 масс.% в форстеритах) и шпинелидах (до 0,15 масс.%) из вулканогенных и гипабиссальных пород выше, чем в тех же минералах из плутонических разностей (до 0,17 масс.%, табл. 7). В плутонических породах наиболее высокое фоновое содержание никеля в минералах группы оливина типично для ультрамафитов дунит-гарцбургит-габбровой формации (0,17 масс. % – в форстерите и 0,14 масс.% – в оливине). Несколько более низкое содержание никеля 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 никеля характерна для гипербазитов дунит-клинопироксенит-габбровых массивов (до

0,12 масс. % в субальмохроммагнетитах). В шпинелевых фазах из plutonic пород других формаций она или ниже предела обнаружения метода анализа, или приближается к нему.

Таблица 7. Оценка содержания изоморфной примеси никеля в оливинах, шпинелидах, оксидах и слюдах plutonic пород различной формационной принадлежности, а также вулканитов, ассоциирующих с массивами дунит-клинопироксенит-габбровой формации

Магм.форм. и ассоциир. Вулканиты	Класс или группа минералов	Название минералов	Колич. анализов	оценка сод. Ni, масс.%	среднее сод. Ni, масс.%	медиана сод. Ni, масс.%	min Ni, масс.%	max Ni, масс.%	Нижний квартиль	Верхний квартиль	Станд. откл.	Коэффиц. вариации	Дисперсия		
вулканические породы															
вулканиты, ассоциир. с массивами дунит- клинопироксенит- габбровой форм.	оливина	форстерит	6	0.33	0.33	0.33	0.30	0.37			0.03	0.09	0.001		
		оливин	3	0.20	0.20		0.19	0.22							
	магнетита- хромита	субферриальмохромит	1	0.15											
		субальмоферрихромит	2	0.10	0.10		0.06	0.14							
		субферрисубальмохромит	1	0.03											
		субферрихромит	3	0.04	0.04		НПО	0.09							
плутонические породы															
дунит- гарцбургит- габбровая	оливина	оливин	5	0.17	0.17	0.16	0.13	0.20			0.03	0.15	0.001		
		форстерит	78	0.14	0.14	0.14	0.01	0.27	0.10	0.18	0.05	0.38	0.003		
	магнетита- хромита	пикотит	12	НПО	0.02	0.01	НПО	0.07			0.03	1.25	0.001		
		альмохромит	71	НПО	0.02	0.00	НПО	0.23			0.05	2.56	0.002		
дунит-клинопироксенит- габбровая	умеренно- щелочные разности	оливина	оливин	11	0.08	0.10	0.08	0.02	0.21		0.07	0.70	0.005		
		магнетита- хромита	магнетит	3	НПО	0.01		НПО	0.04						
		слюд	флогопит	1	0.03										
	дуниты, клинопироксениты, габбро	оливина	форстерит	39	0.10	0.10	0.10	0.02	0.21	0.07	0.13	0.04	0.42	0.002	
			оливин	142	0.07	0.08	0.07	НПО	0.24	0.02	0.11	0.06	0.77	0.003	
		магнетита- хромита	субальмохроммагнетит	21	0.12	0.12	0.12	0.04	0.30	0.08	0.15	0.06	0.49	0.004	
			субферрисубальмохромит	17	0.09	0.09	0.09	НПО	0.18	0.06	0.11	0.05	0.57	0.003	
			магнетит	109	0.07	0.08	0.07	НПО	0.42	0.00	0.12	0.08	0.99	0.007	
			субферриальмохромит	2	0.07	0.07		НПО	0.14						
			субальмоферрихромит	19	0.06	0.07	0.06	НПО	0.15	0.04	0.11	0.05	0.65	0.002	
			хроммагнетит	10	НПО	0.03	0.02	НПО	0.12	0.01	0.04	0.04	1.18	0.001	
		ильменита	ильменит	3	0.05	0.05		НПО	0.09						
кортландит- норитовая	оливина	гиалосидерит	2	0.11	0.11		0.06	0.16							
		оливин	54	НПО	0.06	0.02	НПО	0.24	0.00	0.11	0.07	1.26	0.005		
	магнетита- хромита	субферрихромпикотит	3	НПО	0.02		НПО	0.07							
		пикотит	13	НПО											
		альмохромит	24	НПО											
		хромпикотит	26	НПО											
		субферриальмохромит	11	НПО											
	слюд	флогопит	42	НПО	0.06	0.02	НПО	0.23	0.00	0.10	0.07	1.17	0.004		

Примечание. НПО – ниже предела обнаружения. Составлено по собственным данным, а также по [30, 29, 34, 74, 91, 90, 109, 122]. При количестве анализов от 2 до 4 в качестве оценки среднего приняты средние арифметические значения содержаний. Остальное – медианы. При коэффициентах вариации более 0,3 вычислены нижний и верхний квартили. По [70], с изменениями.

В оливинах из пород с магматогенной сульфидной минерализацией и убогих руд распределение изоморфного никеля неравномерно вне зависимости от их формационной принадлежности, что объясняется его экстракцией в сульфиды в процессе магматогенного рудообразования (рис. 2). В пределах одного образца в разных оливиновых зернах содержание никеля варьирует от значений «ниже предела обнаружения» до 0,2–0,5 масс.%. Содержания никеля как в оливинах, так и в шпинелидах иногда повышаются вблизи сульфидных выделений, возможно, вследствие поздних диффузионных процессов или захвата микровыделений сульфидов в ходе аналитических исследований. Преимущественно низкое содержание никеля в оливинах пород с магматогенной сульфидной минерализацией показывает, что при наличии условий для ликвации сульфидного и силикатного расплавов никель связывается в сульфиды, при отсутствии – изоморфно входит в состав силикатов и оксидов.

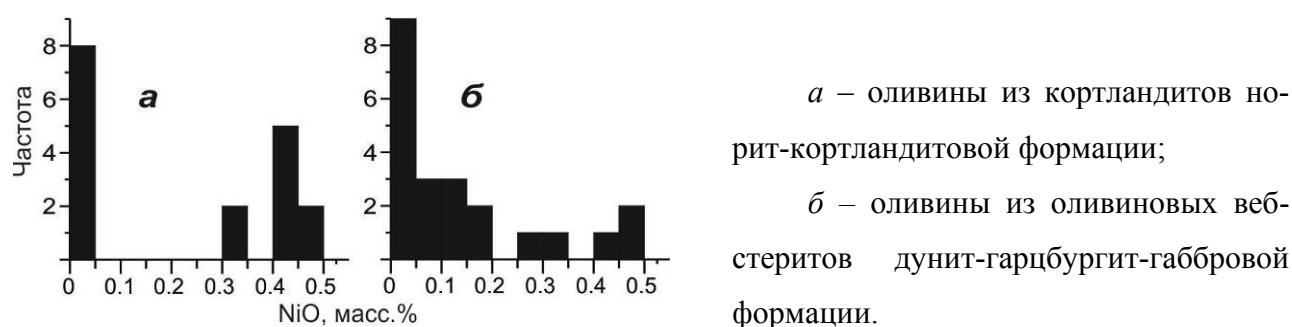


Рисунок 2. Распределение NiO в оливинах пород с выраженной сульфидной минерализацией (убогих руд). По [70], с изменениями.

2.3. Критерии выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации

Несмотря на почти шестидесятилетнюю историю исследований медно-никелевых руд Центральной Камчатки, определение принадлежности отдельных интрузий к никеленосной норит-кортландитовой формации в ряде случаев является непростой задачей. Проблемы возникают из-за сложного геологического строения территории, плохой обнаженности, интенсивных тектонических преобразований, когда плутонические мафит-ультрамафитовые формации представле-

ны фрагментарно. Кроме того, встречаются близкие по составам и структуре породы различной формационной принадлежности. Так, в составе левоандриановского ряда плутонических комплексов на Камчатке [100], к которому относят массивы дунит-клинопироксенит-габбровой формации и сопутствующие им умеренно-щелочные породы, отмечаются разности, внешне сходные с кортландитами никеленосных интрузий – роговообманковые перидотиты – шрисгеймиты [122] (рис. 3). Оба вида пород являются производными ультраосновных магм повышенной щелочности с высоким содержанием воды [87, 122].

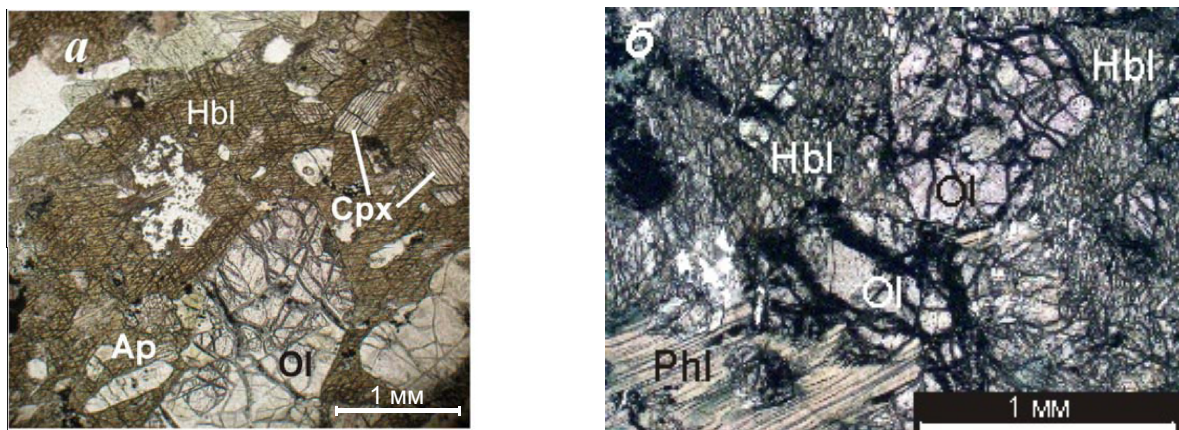


Рисунок 3. Шрисгеймиты (а, заимствовано из [122]) и кортландиты (б). По [69], с изменениями.

Подписи на рисунках: Hbl – роговая обманка, Ol – оливин, Cpx – клинопироксен, Phl – флогопит, Ap – апатит. Фото в проходящем свете.

Вследствие того, что кортландиты входят в серию пород кортландиты-оливиновые и роговообманковые пироксениты, которая возникает в результате кристаллизационной дифференциации [31], границы между разностями пород достаточно условны, их количественный минеральный состав может в значительной степени варьировать. В справочной и методической литературе также встречаются различные толкования термина «кортландит»: двупироксеновый перидотит с пойкилитовыми порфиробластами роговой обманки [44]; пироксен-оливиновый горнблендит (Геологический словарь, 2011 и [26]); роговообманковая разновидность перидотита (Геологический словарь, 1978 и [75]). На Камчатке к кортландитам относят пироксен-роговообманковые перидотиты, состоящие из крупных кристаллов роговой обманки, пойкилитово включающих более мелкие

зерна оливина, бронзита, а также диопсида. Для пород характерно значительное количество флогопита [87, 130].

Шрисгеймиты – породы темно-серого цвета с крупно-среднезернистой, пойкилитовой структурой (рис. 3 а). Сложены крупными кристаллами роговой обманки паргасит-гастингситового ряда, которые включают зерна оливина, клинопироксена и флогопита. Акцессорные минералы представлены шпинелидами, иногда отмечаются гранат и фторапатит. Встречаются участки пироксенитового состава и сростки амфибола с пироксеном [122].

Кортландиты и шрисгеймиты близки по петрохимическим особенностям и относятся к ультраосновным нормальнощелочным породам с натрий-калиевым типом щелочности (табл. 8). Характерно подобие структур и минерального состава. Различия проявляются при использовании оптических методов, либо исследований химического состава породообразующих минералов (табл. 8). Шрисгеймиты отличаются от никеленосных кортландитов составами роговых обманок, несколько большей магнезиальностью оливина и отсутствием, либо низким содержанием ортопироксена. Шпинелиды не содержат цинка и представлены хромитом, хроммагнетитом и магнетитом. В шрисгеймитах отмечается сравнительно высокое (около 0,4 масс.%) содержание никеля в оливинах. Так как кортландиты часто несут сульфидную минерализацию, то содержание никеля в оливинах обычно находится ниже предела обнаружения метода анализа.

Приведенный пример сходства пород разной формационной принадлежности указывает на необходимость дальнейшего выявления признаков никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации. В настоящее время установлен целый ряд региональных и локальных критериев их поиска и выделения (табл. 9). В структурном плане интрузии норит-кортландитовой формации располагаются в пределах Камчатского срединного массива и тяготеют к краевым частям гранито-гнейсовых куполов. Они приурочены к зонам долгоживущих тектонических разломов глубинного заложения в полях распространения в различной степени метаморфизованных терригенных образований, насыщенных серой и углеродом [77, 76, 100, 130].

Таблица 8. Особенности роговообманковых перидотитов из комплексов различной формационной принадлежности

Формация		Дунит-клинопироксенит-габбровая	Норит-кортландитовая	
Геол. подразд.		Левоандриановский ряд плутонических комплексов	Дукукский плутонический комплекс	
Породы		Шрисгеймит [122]	Кортландит (массив Дукук [31])	Кортландит (слой 1Б, Восточно-Геофизический, Шанучское рудное поле [87])
Минеральный состав пород и особенности породообразующих минералов	Рог. обм	паргасит – феррогастингсит	обыкновенная р.о., паргасит	паргасит
	оливин	Fo 83–94	Fo 72–77	Fo 82–84
	флогопит	Fe# 17–24	Fe# 32	Fe# 19
	ортопироксен		бронзит	бронзит
	клинопироксен	диопсид, Cr ₂ O ₃ – 0,5 масс. %	диопсид, Cr ₂ O ₃ – 0,48 масс. %	
	апатит	+	+	+
	сульфиды		+	+
	шпинелиды	хромит	хромистая шпинель (сод. Zn)	хромистая шпинель (сод. Zn)
	гранат	андрадит-гроссуляр		
	ильменит		+	
	плагиоклаз		анортит	
Структура породы, ее особенности		Пойкилитовая. Рог. обманка включает зерна оливина, пироксена, флогопита, шпинели, в единичных случаях граната и фторapatита	Гипидиоморфнозернистая (пойкилитовая?). Кумулусные оливин, ортопироксен и клинопироксен, интерстициальные – рог. обманка, флогопит и плагиоклаз	Пойкилитовая. При вариациях структуры матрицы из ойкокриталлов от призматически- до гипидиоморфнозернистой.
Содер. Ni в оливине, масс. %		Среднее: 0,4 (4)	Преимущественно ниже предела обнаружения метода анализа	
Содерж. в породе, г/т	Ni	Нет данных	260–2800	1210
	Co	Нет данных	120–280	140
	Cu	Нет данных	88–1400	200
Содержания породообразующих оксидов				
Кол-во анализов		1	21	
SiO ₂ , масс. %		42,5	43,78 (35,78–48,99)*	
TiO ₂ , масс. %		0,32	0,68 (0,21–1,80)	
Al ₂ O ₃ , масс. %		7,37	7,27 (4,00–11,83)	
Fe _{об} , масс. %		8,84	11,8 (8,32–15,00)	
MnO, масс. %		0,13	0,16 (0,06–0,23)	
MgO, масс. %		29,9	24,13 (13,40–34,95)	
CaO, масс. %		6,17	5,54 (1,48–10,79)	
Na ₂ O, масс. %		0,26	0,81 (0,16–1,38)	
K ₂ O, масс. %		0,22	0,37 (0,06–0,82)	
P ₂ O ₅ , масс. %		0,1	0,1 (0,03–0,37)	

Примечание. + – наличие минерала. В скобках приведены минимальные и максимальные значения (по [69], с изменениями). С использованием собственных аналитических данных, а также [31, 34, 87, 122].

Таблица 9. Критерии поиска и выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации

	Поисковые критерии	Региональные		Локальные
1.	Структурно-тектонические	Краевые части гранито-гнейсовых куполов, зоны долгоживущих тектонических разломов (магматоводов).		
2.	Литолого-стратиграфические	Поля распространения в различной степени метаморфизованных терригенных образований, насыщенных серой и углеродом.		
3.	Временные	Периоды тектоно-магматической активизации, проявленные в пределах КСМ.		
4.	Петрохимические	Безрудные ультраосновные породы норит-кортландитовой формации обогащены никелем, медью и кобальтом в сравнении с ультраосновными разностями других формаций, которые обогащены никелем и кобальтом, но при этом обеднены медью.		
5.	Петрографические	Магматические комплексы, представленные интрузиями габбро, габбро-норитов, норитов, пироксенитов, горнблендитов, коротландитов (в том числе, сложного состава).	Присутствие коротландитов, в том числе, в составе дифференцированных серий пород	
6.	Геофизические	Локальные максимумы Δg при отсутствии коррелируемых с ними аэромагнитных аномалий, расположенные в региональных зонах горизонтальных градиентов силы тяжести.	Локальные аномалии электропроводности и локальные магнитные аномалии над рудными телами.	
7.	Петрофизические		Низкая магнитная восприимчивость и высокая плотность пород основного и ультраосновного состава.	
8.	Минералогические		Наличие сульфидной минерализации с типичной пирротин-пентландит-халькопиритовой ассоциацией, присутствие гипергенных минералов меди и никеля в зонах окисления. Для руд и пород характерно присутствие ильменита, графита и хромистой шпинели с повышенным содержанием цинка, а также незначительное количество магнетита. Типично высокое содержание никеля в пентландитах, низкое содержание или отсутствие никеля в шпинелидах, отсутствие (или редкость) самородных никелевых минералов.	
9.	Геохимические		Наличие первичных ореолов рассеяния с высокими содержаниями никеля, кобальта, меди, хрома, серебра, золота, выдержанных потоков никеля, меди, кобальта, мышьяка, золота. Смещение ореолов рассеяния под рудными телами незначительно. Присутствие зон окисления над выходами рудных тел на дневную поверхность.	
10.	Геоморфологические		Коренные выходы богатых руд часто приурочены к отрицательным формам рельефа.	

В качестве геофизического критерия установлена приуроченность рудоносных интрузий к локальным гравитационным максимумам в региональных зонах горизонтальных градиентов силы тяжести, положение которых указывает на участки деструкции в земной коре [94]. Геологические блоки, содержащие рудоносные интрузии, выделяются локальными максимумами Δg , при отсутствии коррелируемых с ними аэромагнитных аномалий. Такие особенности объясняются физическими свойствами пород норит-кортландитовой формации – низкой магнитной восприимчивостью и высокой плотностью [94]. Низкие магнитные свойства связаны с почти полным отсутствием в породах первичного магнетита [94, 130]. Для рудных тел характерны локальные аномалии электропроводности и локальные магнитные аномалии. Вместе с тем, геофизические критерии разбраковки аномалий, связанных с конкретными рудными телами, разработаны слабо. Сложности их интерпретации обусловлены тем, что массивы норит-кортландитовой формации содержат крупные ксенолиты терригенных пород, насыщенных проводящим графитом (а иногда и безрудным пирротином), которые образуют комплекс аномалий, сходных с теми, что наблюдаются над рудными телами.

Характерны первичные ореолы рассеяния с высокими содержаниями никеля, кобальта, меди, хрома, серебра, золота и выдержанные потоки никеля, меди, кобальта, мышьяка, золота. При этом смещение ореолов рассеяния над рудными телами незначительно [100]. Коренные выходы руд часто приурочены к отрицательным формам рельефа [100]. Над рудными телами наблюдаются зоны окисления [39, 100]. К известным минералогическим критериям относится наличие сульфидной минерализации с типичной пирротин-пентландит-халькопиритовой ассоциацией, присутствие гипергенных минералов меди и никеля в зонах окисления [100]. В породах отмечаются графит и ильменит при отсутствии первичного магнетита [130]. Для шпинелевых фаз характерно повышенное содержание цинка [109].

В качестве дополнительных критериев выделения никеленосных интрузий можно использовать выявленные в результате проведенных исследований геохимические закономерности вариаций фоновых содержаний никеля, кобальта и ме-

ди в различных по магнезиальности и основности безрудных породах мафит-ультрамафитовых плутонических формаций региона, а также минералогические особенности рудных и породообразующих минералов ультрамафитов норит-кортландитовой формации. Для них 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.

В породах дунит-клинопироксенит-габбровой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций установлено снижение концентраций никеля и кобальта и возрастание содержаний меди 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 никель и кобальт рассеиваются в породообразующих минералах групп оливина и хромита-магнетита. Прослеженные закономерности согласуются с данными по оценкам средних содержаний никеля в породообразующих и рудных минералах руд и пород, связанных с мафит-ультрамафитовыми формациями Камчатки.

Экстракция никеля в сульфиды в процессе магматического рудообразования подтверждается при исследовании составов оливинов из основных и ультраосновных пород с заметной магматогенной сульфидной минерализацией (убогих руд), где распределение изоморфного никеля неравномерно вне зависимости от формационной принадлежности. В пределах одного образца в разных оливиновых зернах содержание никеля варьирует от значений «ниже предела обнаружения» до 0,2–0,5 масс. %.

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

Глава 3. Особенности рудогенеза в телах норит-кортландитовой формации

Геологическое строение, вещественный состав, а также процессы рудообразования, характерные для месторождения, проявлений и пунктов минерализации никеля, связанных с массивами норит-кортландитовой формации, рассмотрены на примере:

- проявлений медно-никелевых руд в пределах Кувалорогского интрузивного массива и в мелких интрузиях его обрамления (Дукукский рудный район);
- рудного тела на участке Восточно-Геофизическом (Шанучское рудное поле).

3.1. Рудопроявления в пределах Кувалорогского массива

3.1.1. Геологическое строение

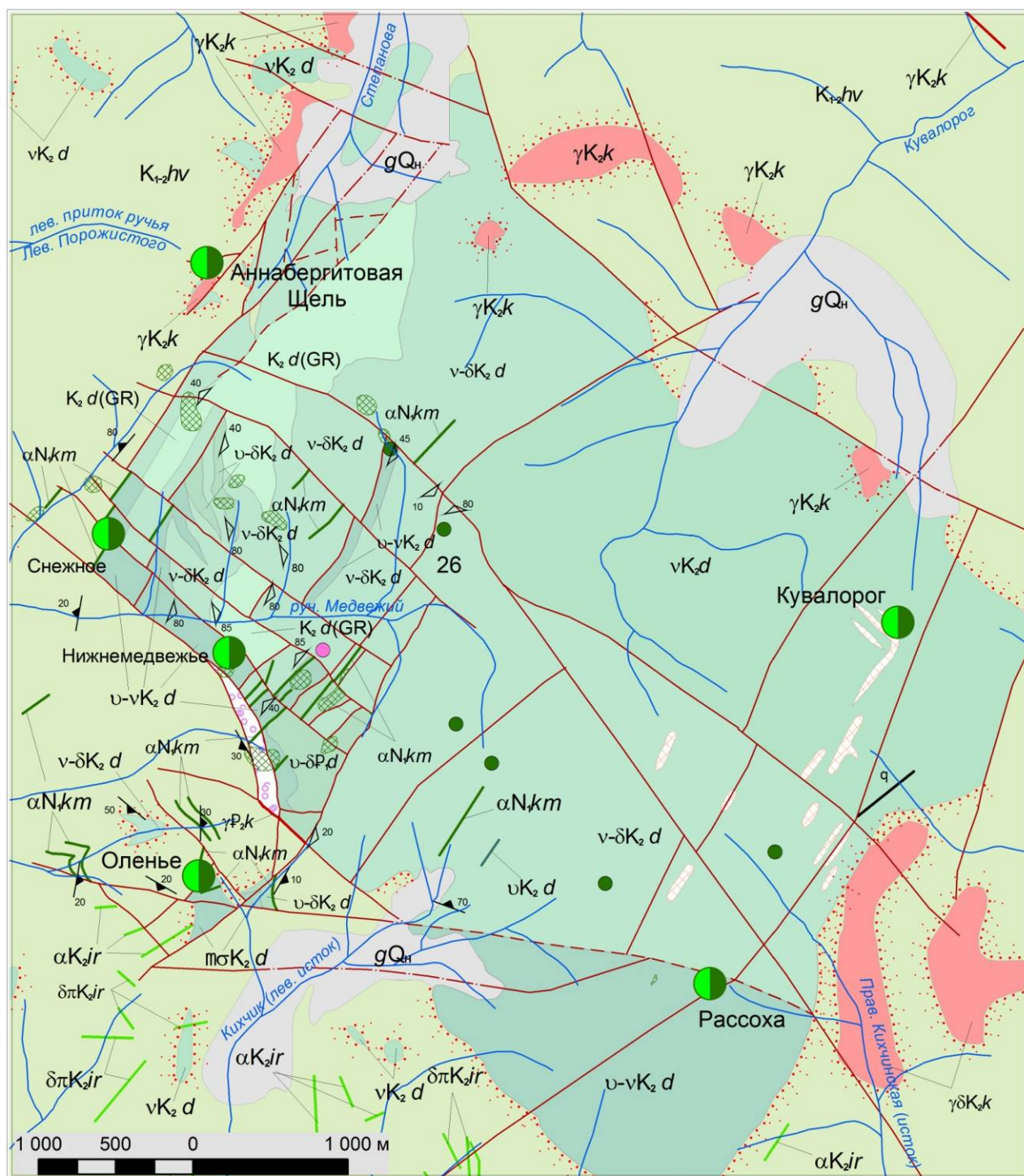
Кувалорогский массив расположен в южной части КСМ, в истоках рр. Кувалорог, Левый Кихчик, руч. Медвежий. В плане имеет ромбовидную форму, площадь около 30 км² и мощность около 1 км [115]. Вмещающими являются ранне-позднемеловые образования хейванской свиты. Свита сложена филлитами, метаалевролитами, метапесчаниками, реже графитсодержащими филлитами, гранат-, андалузит-, ставролитсодержащими двуслюдяными кристаллическими сланцами с прослоями альбит-кварцевых, хлорит-серицитовых и кварц-хлоритовых сланцев (рис. 4). Отложения метаморфизованы в фации зеленых сланцев, на отдельных участках – до эпидот-амфиболитовой фации. Породы содержат большое количество прожилков, линз и обособлений кварца, ориентированных преимущественно по сланцеватости (рис. 7). Мощность свиты оценивается более чем в 1000 м [100].

Кувалорогский массив прорван гранитоидами кольского плутонического комплекса, возраст которых в настоящее время принят позднемеловым [6, 100], а также среднемиоценовыми дайками андезитов (рис. 5).



Рисунок 4. Смятые в сложные складки сланцы хейванской свиты с линзами и будинами кварца.

Интрузии плагиогранит-гранодиоритового кольского комплекса часто приурочены к внешнему обрамлению контактов Кувалорогского массива со сланцами хейванской свиты (рис. 5). Выделяют три фазы формирования гранитоидов [100]. Первая и вторая представлены интрузиями сложного состава (диориты, кварцевые диориты, плагиограниты, плагиогранит-порфиры, гранодиориты, тоналиты, граниты). Третья фаза образована интрузиями гранодиоритов, гранитов как сложного состава, так и простого. Для нее характерны дайки аплитов и пегматитов, нередко содержащих турмалин (рис. 6 а, б). Морфология и характер контактов интрузий кольского комплекса с вмещающими образованиями разнообразны – от простых, ровных, до сложных, с чередованием апофиз и зажатых между ними блоков вмещающих пород. Иногда зона контакта мощностью от десятков до первых сотен метров представляет сеть разноориентированных маломощных лейкократовых гранитоидных прожилков во вмещающих породах (рис. 6 б) [100].



Условные обозначения									
gQ_h	1	$v-\delta K_2 d$	6	αK_{2ir}	11	q	16	Рассоха	22
αN_{km}	2	$vK_2 d$	7	$K_{2-2} hv$	12		17		23
$\gamma \delta K_2 k$	3	$v-\delta K_2 d$	8		13		18		24
$\gamma P_2 k$	4	$v-vK_2 d$	9		14		19		25
$K_2 d(GR)$	5	$vK_2 d$	10		15		20		26
							21		

Рисунок 5. Геологическая карта массива Кувалорог. Составлена по собственным данным с использованием материалов Г. В. Кувакина, а также [6].

1 – ледниковые отложения (голоцен), 2 – дайки андезитов кимитинского комплекса. Интрузии (3) и дайки (4) кольского комплекса: гранодиоритов, диоритов (δ), плагиогранитов и гранитов (γ). Фациальные разности интрузий дукукского комплекса сложного состава (5–10): 5 – гранатовые диориты, 6 – нориты и диориты, 7 – габбро и габбронориты, 8 – горнблендиты и диориты, 9 – ортопироксениты и габбро, метаперидотиты ($\ddot{E}1d$), 10 – субпластовые тела пироксенитов, не выражающиеся в масштабе карты. 11 – ирунейские субвулканические образования – субпластовые тела андезитов (α) и диоритовых порфиритов ($\delta\pi$), 12 – сланцы хейванской свиты, 13 – метасоматиты, 14 – вкрапленная сульфидная минерализация, 15 – контактово-измененные породы, 16 – жилы кварца, 17 – зоны полимиктового меланжа. Разрывные нарушения (18–21): 18 – достоверные, 19 – достоверные, скрытые под вышележащими образованиями, 20 – предполагаемые, 21 – предполагаемые, скрытые под вышележащими образованиями. 22 – медно-никелевые рудопроявления и их названия, 23 – медно-никелевые пункты минерализации, 24 – безникелевая пирротиновая минерализация в ксенолите сланца. 25, 26 – элементы наклонного залегания: сланцеватости (25), расслоенности интрузии (26).

Среднемиоценовые дайки андезитов кимитинского комплекса [6] прорывают сланцы хейванской свиты и образования дукукского и кольского комплексов (рис. 5). Мощность их достигает 1–5 м, протяженность до нескольких сотен метров. Контакты ровные, приконтактные изменения выражены слабо.

Кувалорогский массив сложен гранатсодержащими диоритами, диоритами, норитами, габброноритами, ортопироксенитами, горнблендитами и кортландитами (рис. 5). Вследствие кристаллизационной дифференциации нижняя часть интрузии образована породами преимущественно ультраосновного и основного, верхняя – основного и среднего составов. Местами наблюдается хорошо проявленная расслоенность, благодаря которой прослеживаются особенности внутреннего строения массива. В результате тектонических преобразований интрузив смят и разбит разрывными нарушениями на отдельные блоки [19, 88].

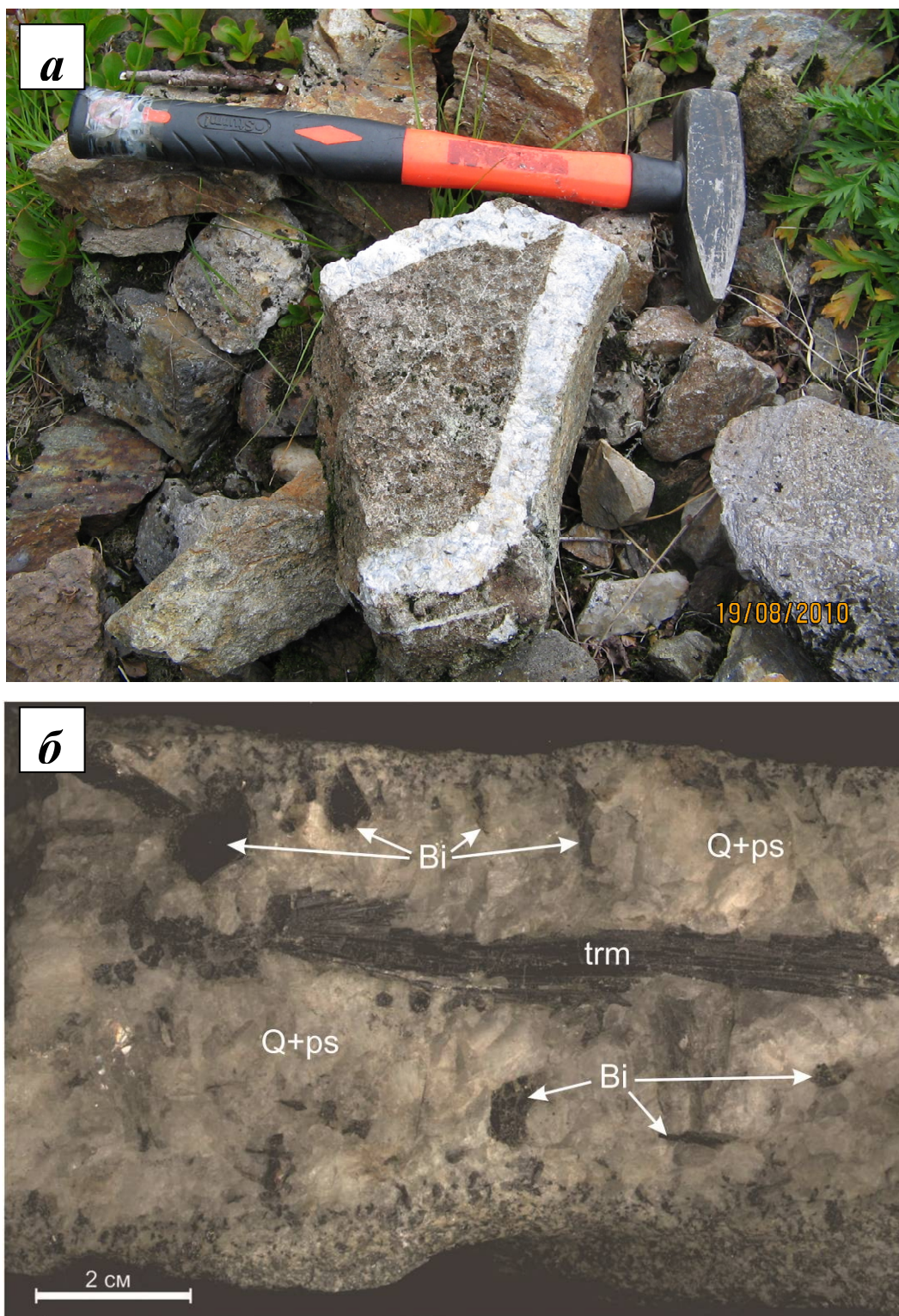


Рисунок 6. Жилы гранитоидов третьей фазы кольского комплекса, секущие породы дукусского комплекса.

Прожилки гранитоидов в габброноритах в районе рудопроявления Аннабергитовая Щель (а); пегматоидная жила, сложенная кварц-полевошпатовым агрегатом (Q+ps) с крупными пластинками биотита (Bi) и кристаллами турмалина (trm) из восточной части массива Кувалорог (б).

Условно, по особенностям строения, различной глубине эрозионного вреза и степени изученности массив можно разделить на три части: северо-западную, юго-западную и восточную. Северо-западная часть – бассейны ручьев Медвежий и Левый Порожистый, верховья р. Степанова; юго-западная – верховья одного из истоков р. Кихчик, восточная – бассейны рр. Кувалорог и правая Кихчинская. На северо-западном фланге Кувалорогского массива разрез интрузивного комплекса сложен серией пород кортландиты – ортопироксениты – нориты – диориты. Соотношения между выделенными разностями магматические, обусловленные дифференциацией исходного расплава в ходе кристаллизации интрузии. Мощность макроритмов составляет десятки и сотни метров. В верхней части разреза под среднезернистыми диоритами и лейконоритами без признаков расслоенности (рис. 7) залегают габбронориты, в которых местами наблюдаются хорошо выраженное ритмичное чередование пород от горнблендитов до габброноритов (рис. 8 а). При этом мощность отдельных прослоев составляет от первых сантиметров до первых метров (рис. 8 а). В основании разреза залегают кортландиты и ортопироксениты (рис. 8 б). Сульфидное оруденение в основном приурочено к ультрамафитам, где оливин и ортопироксен образуют пойкилитовые включения в амфиболе и флогопите [88].



Рисунок 7. Среднезернистые лейконориты в западной части Кувалорогской интрузии.



Рисунок 8. Характер залегания пород в западной части Кувалорогской интрузии.

а- наклонное залегание пород ритмично-расслоенного комплекса (от горнблендитов до габброноритов), *б* – породы расслоенного комплекса (кортландиты – ортопироксениты – габброиды).

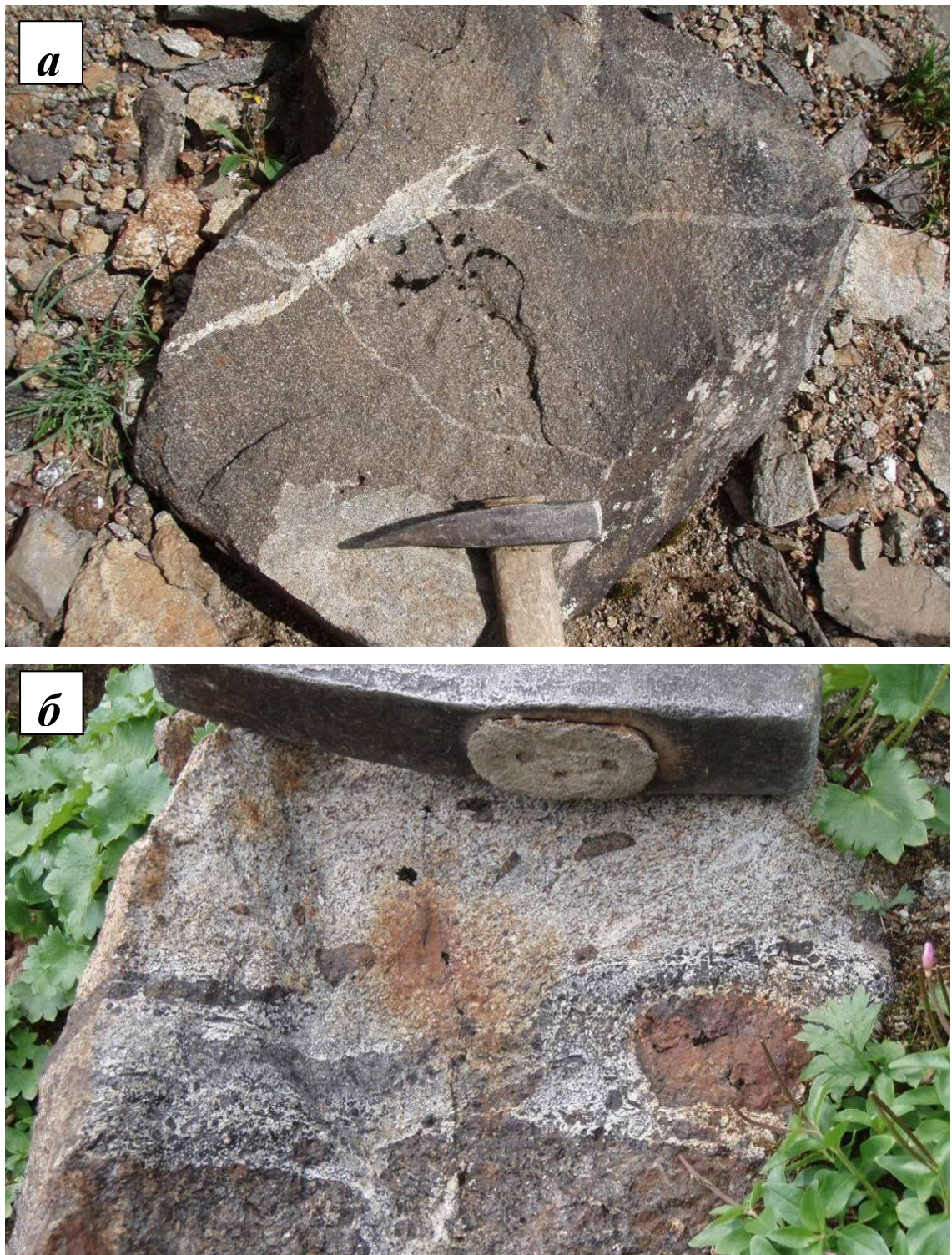


Рисунок 9. Текстуры пород в юго-западной части массива Кувалорог.

Ксенолиты и прожилки лейкократовых диоритов в меланократовых (а); ксенолиты пироксенитов в диоритах (б).

Юго-западная часть массива образована преимущественно диоритами и норитами. Здесь отмечается сложное и неоднородное строение интрузии при отсутствии элементов расслоенности. Часто встречаются прожилки лейкократовых

диоритов в меланократовых разностях и в горнблендитах, ксенолиты ультрамафитов в лейконоритах (рис. 9 *а, б*). По данным геологосъемочных и поисковых работ в восточной части массива преобладают габброиды и диориты. Сложное строение интрузии объясняют как неоднократным внедрением магм различного состава, так и размещением массива в тектонически активном районе, где магматическая камера время от времени подвергалась тектоническим воздействиям, что препятствовало формированию совершенной рассленности.



Рисунок 10. Характер ненарушенного контакта диоритов и сланцев хейванской свиты.

Гранатовые диориты образуют многочисленные мелкие субпластовые инъекции в сланцах (мощностью от первых сантиметров до первых десятков сантиметров). Западная часть массива Кувалорог.

Приконтактовые части интрузии образованы лейкократовыми норитами и диоритами с гранатом пироп-альмандинового ряда [30]. Контакты с вмещающими породами преимущественно тектонические. В редких случаях можно увидеть характер ненарушенных контактов, представляющий собой многочисленные мелкие субпластовые инъекции гранатовых диоритов во вмещающие апотерригенные образования мощностью от первых сантиметров до первых десятков сантиметров (рис. 10). Часто встречаются ксенолиты терригенных пород (рис 11. *а, б*), размером от первых сантиметров до десятков метров. В экзоконтакте и в ксенолитах

вмещающие превращены в гранат-силлиманит-биотит-кварцевые, гранат-плагиоклазовые роговики. Отмечаются гранатиты, сложенные порфиробластами граната с графит-силлиманитовым матриксом, а также гранат-биотит-кварц-плагиоклазовые роговики с пирротинном [30].

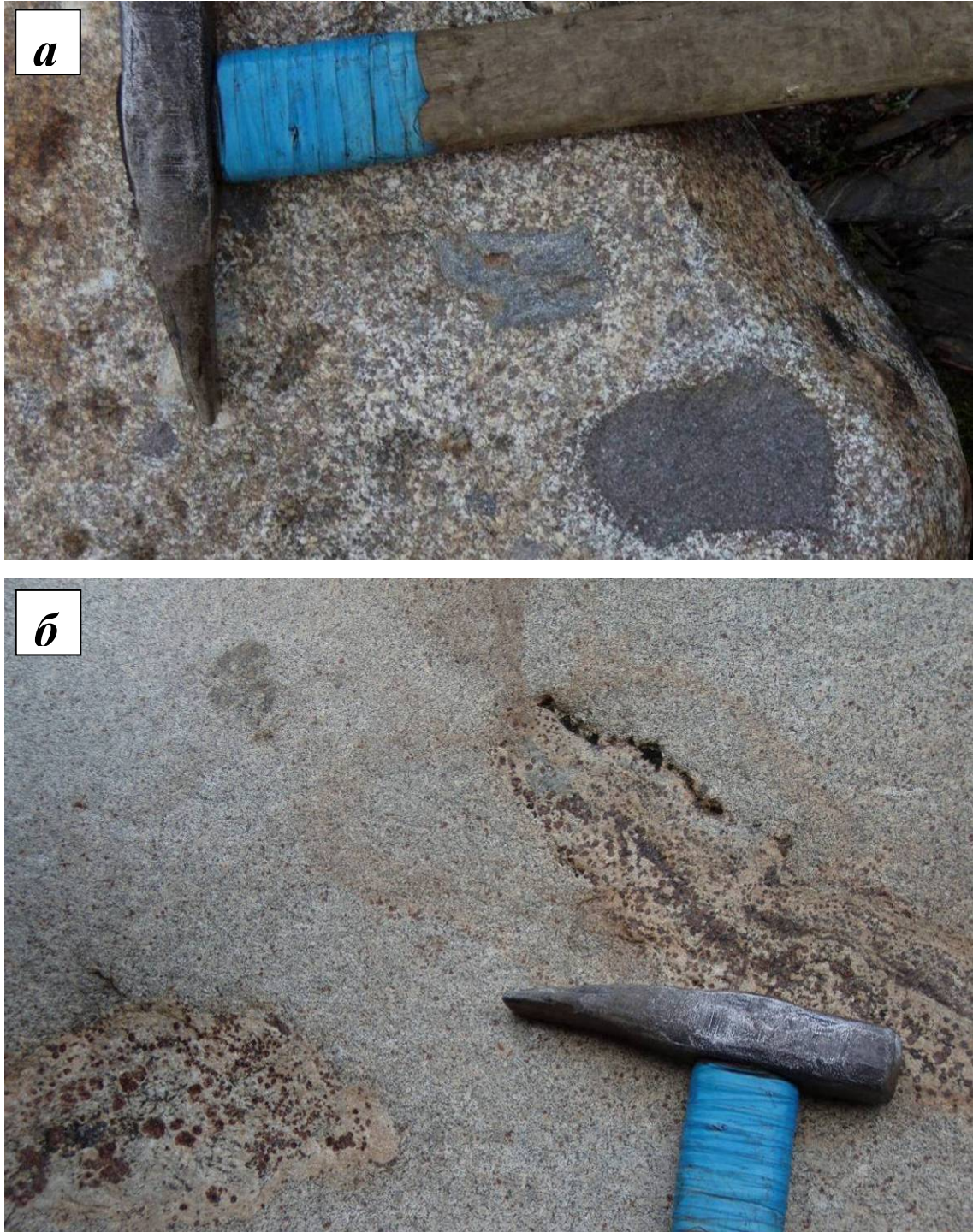


Рисунок 11. Ксенолиты в гранатовых диоритах (западная часть массива Кувалорог).

Ксенолиты разного состава (а), ксенолиты интенсивно преобразованных вмещающих терригенных пород с крупными гранатами (б).



Рисунок 12. Ксенолиты вмещающих пород в западной части массива Кувалорог.

Обособление графита в диорите, оставшееся в результате ассимиляции ксенолита вмещающих терригенных пород (а). Заштрихованный контур – пластообразный ксенолит графитизированных сланцев с содержанием сульфидов до 20% (б).

В результате ассимиляции вмещающих терригенных образований интрузивные породы содержат графит, рассеянный или образующий обособления размером до первых сантиметров (рис. 12 а).

Высокое содержание сульфидов в породах Кувалорогской интрузии не всегда свидетельствует о наличии медно-никелевого оруденения. В северо-западной части массива установлена сульфидная минерализация с низким содержанием меди и никеля и с высоким (до 0,5 масс.%) содержанием цинка в ороговикоманном ксенолите терригенных пород (рис. 5, 12). Ксенолит имеет форму крутопадающего пласта мощностью около 1 м и прослеживается по простиранию на протяжении 40 м. Количество сульфидов меняется от 5 до 20% при резком преобладании пирротина. В породе присутствует значительное количество графита. Наличие в массиве зон сингенетичной вкрапленной минерализации, содержащих от 1 до 30% сульфидов с относительно низким содержанием никеля и меди подтверждается результатами буровых работ (данные ЗАО НПК «Геотехнология», а также [146, 148, 150, 157]). В пределах Кувалорогской интрузии находится несколько медно-никелевых рудопроявлений и пунктов минерализации. Проявления Снежное и Нижнемедвежье находятся в северо-западной части массива, Рассоха и Кувалорог – в восточной (рис. 6).

3.1.2. Рудная минерализация в северо-западной части Кувалорогского массива

В северо- западной части массива медно-никелевое оруденение представлено вкрапленными и прожилково-вкрапленными сульфидными рудами, приуроченными к меланократовым разностям пород нижней части дифференцированного Кувалорогского интрузива [148]. Площадь выходов рудной минерализации составляет десятки и сотни, реже – тысячи м². С поверхности руды обычно интенсивно окислены и выщелочены. Содержания никеля и меди составляют десятые, кобальта – сотые доли процента. На рудопроявлении Снежное остаточные содержания никеля колеблются от 0,01 до 0,76 %. По данным технологического опро-

бования на проявлении Нижнемедвежье содержание никеля в рудах составляет 0,48 %.

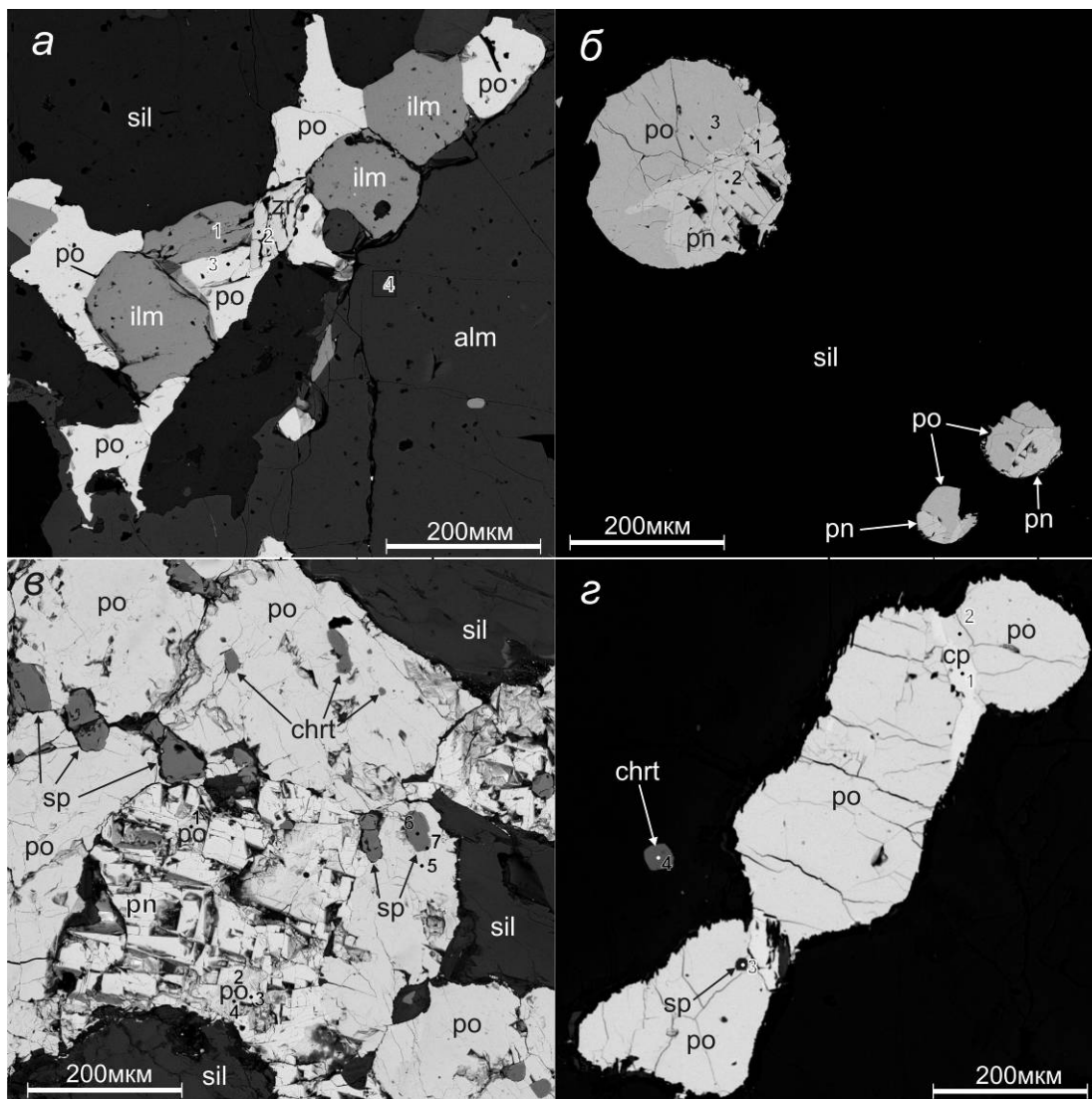


Рисунок 13. Сингенетичная сульфидная и оксидная рудная минерализация в северо-западной части массива Кувалорог.

Вкрапленная ильменит-пирротиновая минерализация из шпинель- и гранатсодержащего биотит-роговообманкового норита (*а*) и вкрапленная сингенетичная халькопирит-пентландит-пирротиновая минерализация в шпинель-оливинсодержащем ортопироксените (*б, в, г*). *а* – интерстиционное выделение агрегата ильменита, Y-содержащего циркона и пирротина; *б* – капле-видные выделения пирротина с пентландитом и Co-Ni пирротином; *в* – сросток пирротина и пентландита, в пентландите микровыделения Co-Ni пирротина, серые зерна в пирротине – шпинелевые фазы, представленные цинксодержащей хромистой шпинелью в ядрах и хромитом по краям; *г* – пирротин и халькопирит в ассоциации с цинксодержащей хромистой шпинелью и хромитом. Фото сделаны в ИЭМ РАН на сканирующем электронном микроскопе CamScan-MV2300, аналитик – А.Н. Некрасов.

Особенности убогой сульфидной минерализации в северо-западной части массива Кувалорог охарактеризованы на примере гранатсодержащих биотит-роговообманковых норитов, оливиновых ортопироксенитов и порфириовидных роговообманковых перидотитов.

Гранатсодержащие биотит-роговообманковые нориты сложены андезитом (около 60%), роговой обманкой (около 15–20%) и ортопироксеном (около 5%). Акцессорные минералы представлены гранатом, ильменитом, апатитом, шпинелидами, цирконом, графитом. По породе незначительно развиваются кальцит, серицит, хлорит, кварц. Рудная минерализация представлена выделениями агрегатов пирротина, ильменита и Y-содержащего циркона (рис. 13 в). Изредка отмечаются халькопирит и сфалерит.

Оливиновые ортопироксениты сложены ортопироксеном (около 85%), оливином (около 5–10%). Отмечаются роговая обманка (около 1 %) и плагиоклаз (около 1 %). Структура пород гипидиоморфнозернистая, пойкилитовая, обусловленная включениями оливина в ортопироксене. Акцессорные минералы представлены ильменитом, рутилом, графитом, шпинелидами. По породе незначительно развивается антофиллит. Сульфиды образуют ксеноморфные вкрапления (рис. 13 а), шаровидные и каплевидные выделения размером до 0,5–1,5 мм, представляющие собой сростки пирротина, пентландита и халькопирита (рис. 13 б, г). Преобладает гексагональный пирротин, образующий зерна размером до 0,5 мм. В меньшем количестве развиты пентландит и халькопирит. В пирротине отмечаются шпинелевые фазы, представленные цинксодержащей хромистой шпинелью в ядрах и хромитом по краям (рис. 13 а, г). Пентландит незначительно замещается виоларитом, содержит микровыделения пирротина с повышенным содержанием кобальта и никеля.

Порфириовидные роговообманковые перидотиты с венцовой, неравномернозернистой (порфириовидной) структурой и гнездово-вкрапленной сульфидной минерализацией (рис. 14 а, б) сложены оливином (40–45%), бронзитом (30–35%), роговой обманкой (около 20%), флогопитом (около 10%), лабрадором (около 5%)

и сульфидами (около 2%). Акцессорные минералы представлены шпинелидами, ильменитом, апатитом, гранатом, рутилом, цирконом, сульфоарсенидами. Содержание никеля в породе составляет 0,17 %. Предполагается, что породы представляют собой результат смешения расплава ультраосновного состава, содержавшего крупные, до 30 мм, мегакристаллы оливина, с расплавом более кислого состава [88].

Оливин (fo 69-84) представлен крупными, трещиноватыми выделениями округлой и вытянутой формы размером от 5–6 до 30 мм. Обрастает мелкими кристаллами бронзита, отдельные зерна частично или полностью перекристаллизованы в микро- и мелкоаллотриоморфнозернистые ортопироксеновые агрегаты. Основная масса сложена панидиоомфными агрегатами кристаллов роговой обманки (чермакит и магнезиальная роговая обманка) с бронзитом. Отмечается обрастание выделений ортопироксена идиоморфными кристаллами чермакита и замещение роговой обманкой. Флогопит развивается по ортопироксенам, реже по роговым обманкам. Зерна шпинелидов обладают зональностью и образуют ряд алюмохромит – хромпикотит – пикотит, при этом содержание оксида цинка возрастает к краевой части зерен и составляет от десятых долей до 3,65 масс.%. Зональность нерезкая, составы зерен изменяются постепенно. Иногда крупные выделения шпинелидов обрастают изолированной каймой субферриалюмохромита. Ильменит образует мелкие, часто пластинчатые зерна (размером от 0,01 – 0,025 мм) между выделениями и по спайности флогопита. В интерстициях кристаллов роговой обманки отмечается магниевый-кальциевый карбонат. Апатиты содержат иттербий.

Вторичные изменения развиты незначительно. Оливин местами замещается серпентином, тальком, карбонатом, боулингитом. По ортопироксену развиваются тальк и куммингтонит. Плагиоклазы иногда локально серицитизированы, отмечается замещение кальцитом с повышенным содержанием иттербия. По флогопиту развивается клинохлор.

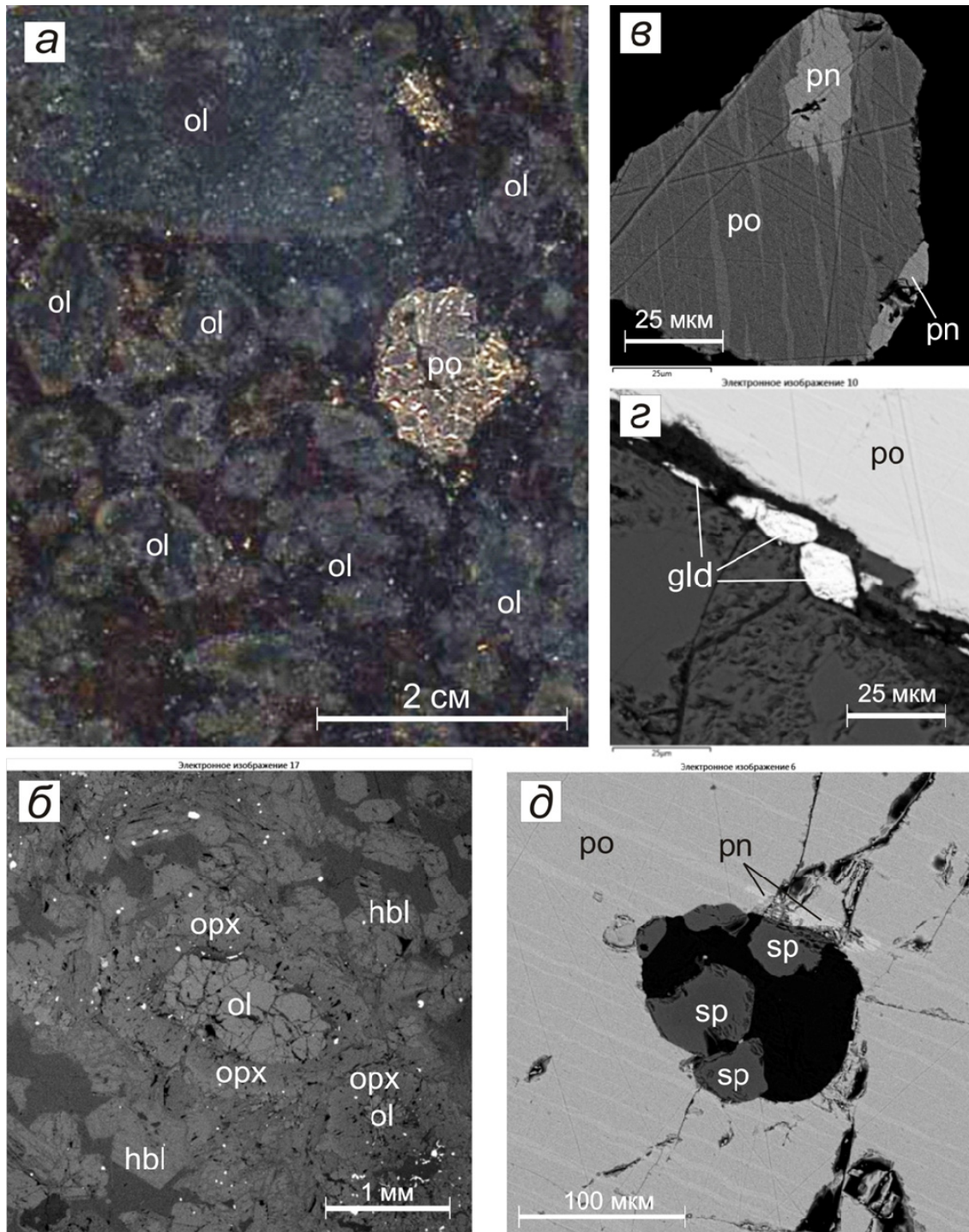


Рисунок 14. Флогопит- плагиоклаз- роговообманковые оливиновые вебстериты (кортландиты).

Общий вид породы в полированном образце (а) и фото отдельных участков образца в отраженных электронах на сканирующем электронном микроскопе (б, в, г, д). а, б – кристаллы оливина (ol) обрастающие ортопироксеном (орх, внутренняя кайма) и роговой обманкой (hbl), крупные выделения пирротина (po) в породе; в – вкрапленник пирротина с пентландитом, в пирротине видна полосчатая структура, обусловленная чередованием разновидностей с повышенным (светлые полосы) и с пониженным (темные полосы) содержанием кобальта; г – кри-

сталлы глаукодота (gld), образующиеся на контакте пирротина с силикатом; δ – округлое включение ортопироксена с хромистой шпинелью (sp) в пирротине с полосчатой структурой. Микрофотографии сделаны в ИВиС ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 (аналитик – В.М. Чубаров).

Таблица 10. Представительные анализы сульфидов из руд и пород с сульфидной минерализацией в северо-западной части Кувалорогского массива

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	37,28	37,54	37,06	37,57	37,50	37,58	39,48	36,06	36,54
Fe	62,17	62,03	62,56	55,03	55,27	56,23	60,21	63,76	62,49
Co	0,11	0,05	0,15	1,95	1,48	1,67	—	0,47	0,63
Ni	0,04	0,13	0,10	5,06	5,46	4,20	0,02	—	—
Cu	0,10	0,09	0,05	0,24	0,19	—	0,01	—	—
Zn	—	—	—	0,03	—	0,27	0,27	—	—
As	—	0,09	—	—	—	—	—	—	—
Se	0,06	—	—	0,02	0,08	—	—	—	—
Sb	0,14	—	0,08	—	—	—	—	—	—
Te	0,12	0,01	—	0,08	0,03	—	—	—	—
Сумма	100,02	99,94	100,00	99,98	100,01	99,95	99,99	100,3	99,66
№ пп	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S	38,57	38,29	33,74	33,61	33,1	33,12	33	33,43	35,26
Fe	60,55	61,14	34,58	34,86	31,55	31,55	32,38	34,92	30,17
Co	0,43	—	1,62	1,30	3,01	3,13	2,74	2,84	0,11
Ni	—	—	29,96	29,91	31,98	31,54	32,59	29,69	0,22
Cu	—	—	—	—	—	—	—	—	33,89
Zn	—	—	0,07	0,29	—	—	—	—	0,02
As	—	—	—	—	—	—	—	—	0,23
Se	—	—	0,03	—	—	—	—	—	0,06
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	0,04
Te	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	99,55	99,43	100,00	99,97	99,65	99,34	100,71	100,88	100,00

Примечание. 1–11 – пирротин; 12–17 – пентландит, 18 – халькопирит. 1–6 – вкрапленная халькопирит-пентландит-пирротинная минерализация в ортопироксените; 7, 12, 13, 18 – вкрапленная ильменит-пирротинная минерализация в биотит-роговообманковых норитах; 8–11, 14–17 – вкрапленная пентландит-пирротинная минерализация в флогопит-плагиоклаз-роговообманковых оливиновых вебстеритах. Исследования выполнены в ИЭМ РАН на электронном микроскопе CamScan-2300 с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором на полупроводниковом Si(Li)-детекторе Link-IMSA, аналитик - А.Н. Некрасов (1–7, 12, 13, 18) и в ИВиС ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max 80 mm², аналитик – В.М. Чубаров (8–11, 14–17).

Сингенетичные рудные минералы представлены преимущественно пирротин, который образует рассеянные гнезда и вкрапления в основной массе разме-

ром до 1 см. В пирротине видна полосчатая структура, обусловленная чередованием разностей с повышенным (темные полосы) и с пониженным (светлые полосы) содержанием серы (рис. 14 в, табл. 10). Полосы с низким содержанием серы содержат десятые доли масс.% кобальта и переходят в выделения пентландита (структура распада, рис. 14 в, д). Крупное включение пентландита наблюдается также в краевой части пирротинового гнезда (рис. 14 в, табл. 10). Пирротин содержит округлые включения ортопироксена с цинксодержащими алюмохромитом и субферриалюмохромитом (рис. 14 д). На контакте пирротина с силикатами развиваются кристаллы глаукодота размером до 20 мкм (рис. 14 з).

3.1.3. Рудная минерализация в восточной части Кувалорогского массива

В восточной части Кувалорогской интрузии расположены рудопроявления Рассоха и Кувалорог. Проявление Кувалорог представляет собой три зоны сульфидной медно-никелевой минерализации мощностью до 70 м и протяженностью до 700 м. К наиболее крупной зоне приурочено рудное тело размером 30x50 м. Руды окислены и выщелочены. Содержание никеля достигает 0,15%, меди – 0,32%, кобальта – 0,008%. Отмечаются также золото (до 2 г/т) и платиноиды до (4,7 г/т) [148, 157, 166].

Площадь перспективного участка на рудопроявлении Рассоха составляет около 0,5 км². Проявление приурочено к разломам субширотного и северо-западного направлений, которые образуют выраженные в рельефе рвы, заполненные глыбами и щебнем рудовмещающих и пород с сульфидной минерализацией, а также продуктами окисления сульфидных руд. Среди обломков присутствуют вкрапленные, гнездово-вкрапленные, богатые прожилково-гнездовые и массивные медно-никелевые руды. Суммарное содержание сульфидов колеблется от десятых долей и первых процентов до 40–90 %. Структуры – сидеронитовые, интерстициальные, каплевидных обособлений. Содержания никеля в массивных рудах достигают 4,2 %, меди – 1,2 %, кобальта – 0,19 %. Руды содержат платину до 0,3

г/т; палладий – до 0,5 г/; золото – до 0,14 г/т; серебро – до 5,0 г/т и селен – до 95,2 г/т. [153, 157].

В районе рудопроявления Рассоха рудовмещающие породы представлены горнблендитами (в основном тремолитизированными), ортопироксенитами и габброноритами. Отмечаются также плагиограниты с сульфидной минерализацией.

Горнблендиты сложены роговой обманкой, встречаются единичные ксеноморфные кристаллы плагиоклаза и редкие чешуйки биотита. В плагиоклазовых разностях количество андезина и лабрадора достигает 15 %. Содержание сульфидов обычно не превышает 1 %. Роговая обманка замещается сноповидными и радиально-лучистыми агрегатами тремолита (до 60 %) в ассоциации с тальком. Серпентин образует псевдоморфозы по оливину.

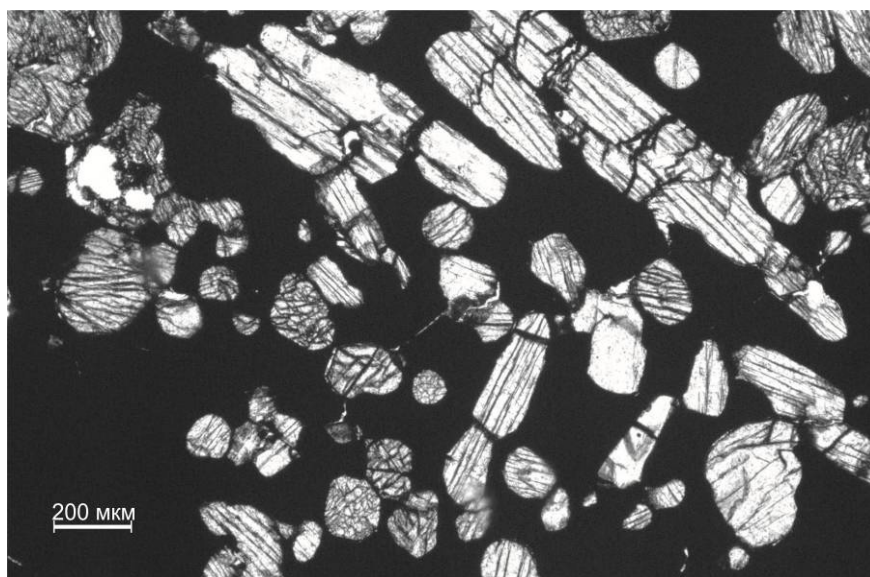


Рисунок 15. Массивные сингенетические руды из рудопроявления Рассоха. Сидеронитовая структура обусловлена закругленными и идиоморфными кристаллами ортопироксена в сульфидном матриксе (черное).

Ортопироксениты представляют собой породы с панидиоморфнозернистой структурой, которые на отдельных участках переходят в богатые сульфидные руды с сидеронитовой структурой (рис. 15) Сложены ортопироксеном (до 70%) и роговой обманкой (до 40%). Отмечается плагиоклаз. Часто наблюдается замеще-

ние ортопироксенов роговой обманкой. В ряде случаев роговая обманка образует кристаллы с пойкилитовыми вкрапленниками ортопироксена. Встречается оливин (до 5-10 %), образующий пойкилитовые включения в ортопироксене и биотит (до 3–5 %). Акцессорные минералы представлены апатитом, рутилом и графитом. В результате вторичных преобразований ортопироксены и роговые обманки замещаются агрегатами талька и тремолита.

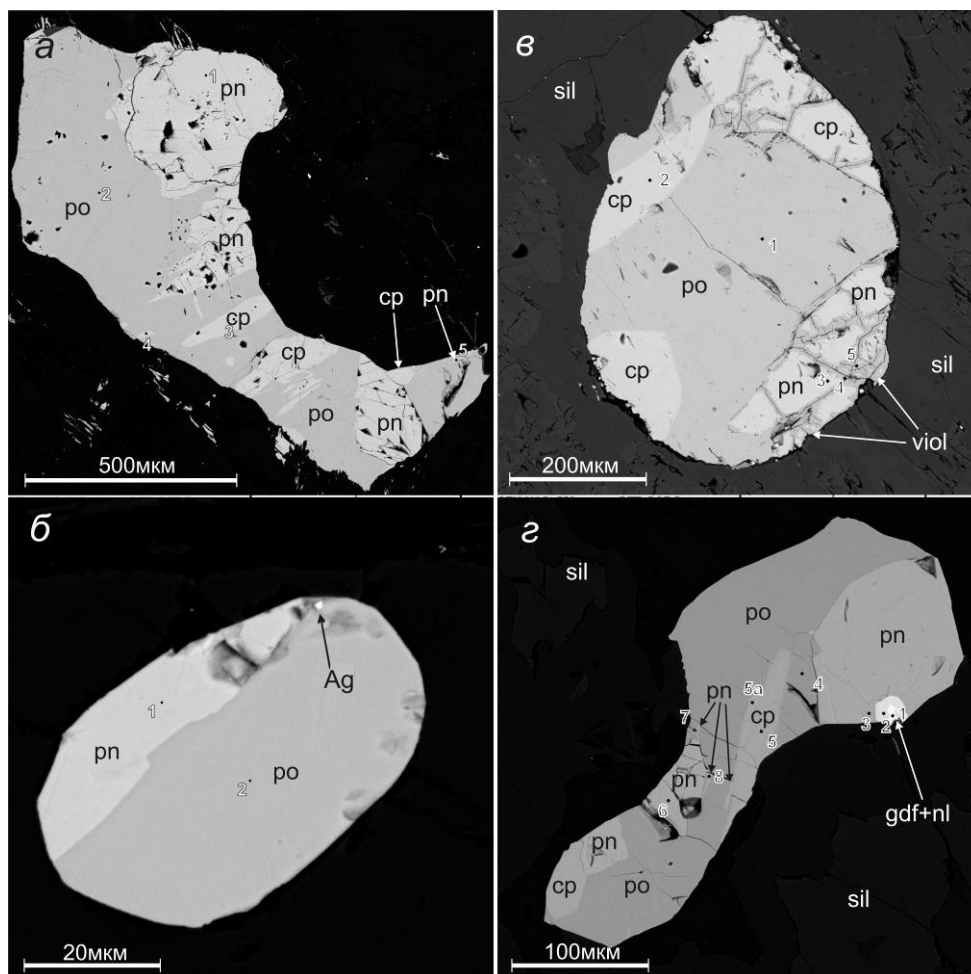


Рисунок 16. Соотношения сульфидных минералов в восточной части массива Кувалорог (рассеяная сульфидная медно-никелевая минерализация).

Рудопроявление Кувалорог (*а, б*) и рудопроявление Рассоха (*в, з, д*). Округлые вкрапленные сингенетичные выделения сульфидов (*а, б, в, з*): *а* – пентландит с халькопиритом и пирротинном; *б* – пирротин в сростании с пентландитом, в пирротине – самородное серебро (Ag). *в* – пирротин с вростками халькопирита и пентландита, по которому развивается виоларит; *з* – сросток пентландита, пирротина и халькопирита, в пирротине отмечаются распадные выделения пентландита, в пентландите – тонкое зерно никелина (nl), окруженное каймой герсдорфита (gdf). Фото сделаны в ИЭМ РАН на сканирующем электронном микроскопе CamScan-MV2300 (аналитик – А.Н. Некрасов).

Таблица 11. Представительные анализы сульфидов из руд и пород с сульфидной минерализацией в восточной части Кувалорогского массива

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	39,69	40,09	40,47	39,48	39,01	33,88	33,93	34,04	34,37
Fe	59,17	58,54	58,62	58,03	57,88	30,16	28,92	29,30	30,64
Co	0,06	0,09	0,13	0,15	0,08	1,10	0,93	0,73	0,58
Ni	0,52	0,82	0,65	0,72	0,83	34,66	35,94	35,61	34,37
Cu	0,38	—	0,07	—	0,04	—	—	—	0,01
Zn	0,10	—	0,05	0,15	0,34	0,09	—	—	—
As	0,04	0,34	—	—	0,15	0,04	0,05	0,27	—
Se	0,05	0,12	—	—	0,04	—	0,25	—	—
Sn	—	—	—	—	0,09	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	0,08	—	—	0,03
Te	—	—	—	0,16	—	—	—	0,05	—
Pb	—	—	—	0,25	0,71	—	—	—	—
Bi	—	—	—	0,95	0,68	—	—	—	—
Сумма	100,01	100,00	99,99	99,89	99,85	100,01	100,02	100,00	100,00
№ пп	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S	34,10	33,75	34,76	33,95	35,01	35,29	35,75	35,48	35,27
Fe	30,21	30,03	32,69	29,63	30,50	30,15	30,08	29,93	29,69
Co	0,56	1,16	1,04	1,78	0,40	—	0,23	—	0,07
Ni	34,86	32,81	28,95	31,82	0,07	0,18	—	0,09	0,02
Cu	0,06	—	0,09	—	33,93	33,89	33,57	32,1	31,53
Zn	0,05	0,26	—	0,03	—	—	0,23	0,21	0,34
As	—	—	—	0,17	—	—	—	0,04	0,1
Se	—	—	—	—	0,10	—	—	0,03	—
Sn	—	0,18	—	—	—	—	—	—	—
Sb	0,09	—	0,02	—	—	0,12	0,12	—	0,01
Te	0,09	0,02	—	—	—	0,37	0,01	—	0,35
Pb	—	0,94	1,84	2,22	—	—	—	1,29	1,46
Bi	—	0,61	0,51	0,27	—	—	—	0,73	0,84
Сумма	100,02	99,76	99,90	99,87	100,01	100,00	99,99	99,9	99,96

Примечание. 1–5 – пирротин; 6–13 – пентландит, 14–18 – халькопирит. 1, 14 – массивные сингенетические медно-никелевые сульфидные руды в ортопироксенитах; 2, 6, 15 – густовкрапленные сингенетические сульфидные руды в ортопироксенитах; 3, 7–10, 16 – вкрапленные сингенетические сульфидные руды в ортопироксенитах; 4, 5, 11–13, 17, 18 – вкрапленные халькопирит-пентландит-пирротинные руды в измененных габброидах. 1–3, 6–10, 1–16 – район рудопроявления Рассоха, 4, 5, 11–13, 17, 18 – район рудопроявления Кувалорог. Исследования выполнены в ИЭМ РАН на электронном микроскопе CamScan MV2300 с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором на полупроводниковом Si(Li)-детекторе Link-IMSA, аналитик – А.Н. Некрасов.

Отмечены постепенные переходы от ортопироксенитов к меланократовым норитам, в которых содержание ксеноморфного плагиоклаза увеличивается до

20 % и встречаются хадакристаллы клинопироксена, включенные в роговую обманку. В меланократовых норитах отмечаются также биотит, флогопит и сфероидальные выделения сульфидов.

Сульфидная минерализация, связанная с ортопироксенитами, горнблендитами и габброноритами представлена пирротинном (до 75–80 %), пентландитом (до 15 %), халькопиритом (до 4 %). Пентландит присутствует в виде пламеневидных вrostков в пирротине и более крупных самостоятельных выделений размером до десятых долей миллиметра (рис. 16 *а, б, в, г*). Халькопирит наблюдается в сростках с пирротинном (рис. 16 *а, в, г*), а также в виде мономинеральных зерен. Представительные анализы составов главных рудных минералов содержатся в таблице 11. Встречаются пирит, герсдорфит (кристаллы в пентландите и пирротине размером до 20 мкм), никелин (вrostки до 10 мкм в герсдорфите, рис. 16 *г*). Также отмечены леллингит, глаукодот, борнит, ковеллин. Наблюдались единичные зерна самородного серебра (размером до 1 мкм, рис 16 *б*), самородной платины (размером до первых микрометров) и самородного золота (размером до 10 мкм).

3.2. Рудопроявление Аннабергитовая Щель

3.2.1. Геологическое строение

Связано с небольшой интрузией дукукского комплекса вблизи северной границы массива Кувалорог (рис. 5). Первая фаза внедрения представлена горнблендитами, габброноритами, норитами и диоритами. Вторая – диоритами и рудоносными меланократовыми диоритами. Из-за близости к проявлению пострудной интрузии эоценовых гранитоидов, рудоносные породы пронизаны прожилками плагиогранитов, содержат участки микропегматита и кварца [40, 170]. Медно-никелевые руды располагаются в южном борту распадка Аннабергитовая Щель (рис. 17). Рудное тело имеет в разрезе треугольную форму. Длина выхода руд по днищу распадка составляет 18 м, высота западного вертикального края – 11 м [40, 42, 170]. Вмещающие породы – сланцы хейванской свиты, горнблендиты, габбронориты, диориты и меланократовые диориты. Контакты рудного тела и вмещающих тектонические. Вдоль контакта располагается зона дробления и рассланцевания.

ния мощностью 10–20 см. В сланцах отмечена мелкая складчатость и система пересекающихся кварцевых прожилков. В интрузии сложного состава наблюдается зона брекчирования с кварц-полевошпатовым цементом и включениями халькопирита (рис. 17). Руды содержат будины и линзы пород основного и ультраосновного состава. С поверхности рудное тело покрыто бурыми гидроксидами железа, а также зеленоватыми корочками сульфатов никеля – моренозита, ретгерсита. Встречаются выделения малахита и азурита, возможно, аннабергита [40, 42, 170].

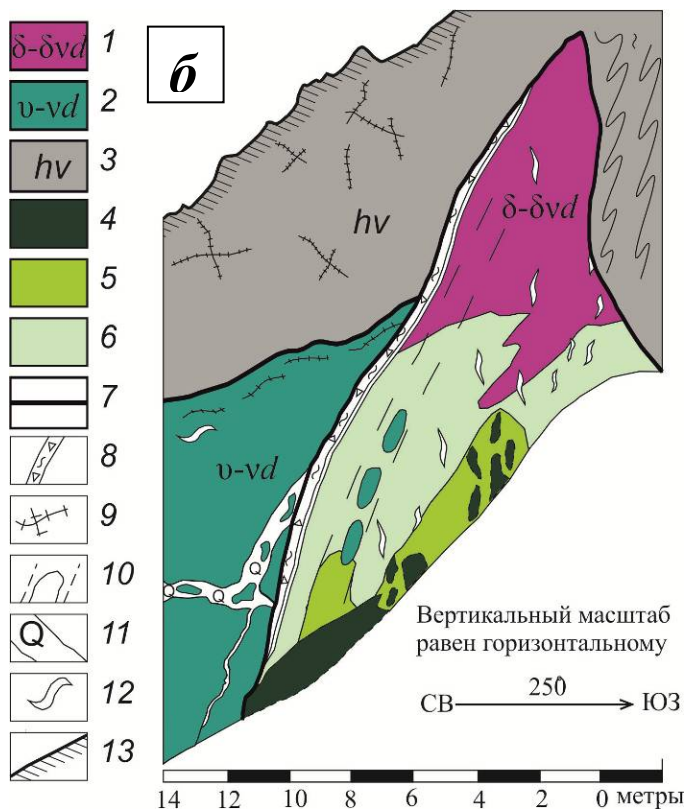


Рисунок 17. Геологическое строение рудопоявления Аннабергитовая Щель.

Фото (а) и зарисовка обнажения (б) по Степанову и Кунгуровой, а также по [40], с изменениями: 1, 2 – дуковский плутонический комплекс, интрузии сложного состава: меланократовых диоритов, диоритов (1), горнблендитов, габброноритов, норитов, диоритов (2); 3 – сланцы хейванской свиты; 4–6 – типы руд: массивные (4), прожилково-вкрапленные и гнездовые (5), вкрапленные (6); 7 – разрывные нарушения; 8 – зоны дробления и рассланцевания; 9 – кварцевые прожилки; 10 – зоны будинажа; 11 – зоны брекчирования с кварц-полевошпатовым цементом; 12 – кварц-полевошпатовые прожилки с вкрапленностью сульфидов; 13 – край обрывистого борта ручья.

Таблица 12. Содержания никеля, кобальта, меди и платиноидов в различных типах руд проявления Аннабергитовая Щель

	Тип руд по текстурно-структурным особенностям	Номер пробы	Способ отбора	Ni, масс. %	Cu, масс. %	Co, масс. %	Вид анализа	Pd, г/т	Pt, г/т	Au, г/т	Вид анализа
Полуокисленные руды	Вкрапленные руды	ГР-2	бороздовая	0.34	0.46	0.01	АА	0.03	0.10	0.022	ИСП-АЭС
		ГР-4	бороздовая	0.13	0.08	0.01	АА	0.06	0.04	0.009	ИСП-АЭС
		ГР-5	бороздовая	0.22	0.24	0.01	АА	0.65	0.21	0.020	ИСП-АЭС
		среднее		0.69	0.78	0.02		0.74	0.35	0.05	
	Прожилково-вкрапленные руды	ГР-6	бороздовая	0.64	1.47	0.02	АА	0.14	0.04	0.006	ИСП-АЭС
		ГР-8	бороздовая	0.99	1.27	0.03	АА	0.87	0.41	0.031	ИСП-АЭС
		ГР-9	бороздовая	0.79	0.88	0.03	АА	0.64	0.28	0.019	ИСП-АЭС
		ГР-12	бороздовая	0.75	0.84	0.02	АА	1.53	0.11	0.043	ИСП-АЭС
		среднее		0.81	1.21	0.03		0.55	0.24	0.02	
	Массивные руды	ГР-10	бороздовая	1.35	0.82	0.04	АА	1.58	0.23	0.024	ИСП-АЭС
		ГР-11	бороздовая	2.09	1.72	0.07	АА	1.23	0.47	0.038	ИСП-АЭС
		ГР-13	бороздовая	1.44	1.80	0.05	АА	0.85	0.74	0.011	ИСП-АЭС
		среднее		1.20	1.21	0.04		1.06	0.35	0.03	
Неокисленные руды	Массивные руды	А-112-1	штуфная	7.67	0.61	0.19	АА	1.57	0.04	0.019	ИСП-АЭС
		А-113-1	штуфная	1.52	2.95	0.05	АА				
		А-113-19	штуфная	3.59	2.95	0.10	АА				
		А-113-21	штуфная	4.96	2.76	0.18	АА	0.15	<0.04	0.085	ИСП-АЭС
		А-113-20	штуфная	4.43	1.27	0.28	ИСП-АЭС	3.36	0.082	0.06	ИСП-АЭС
		среднее		4.43	2.11	0.16		1.69	0.06	0.05	

Примечания. Виды анализов: АА – атомно-абсорбционный (НИГТЦ ДВО РАН); ИСП-АЭС – атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ГЕОХИ РАН). По [170], с изменениями.

3.2.1. Содержание полезных компонентов в рудах

Отмечаются руды с массивной, прожилково-вкрапленной, гнездово-вкрапленной и вкрапленной текстурой, преимущественно полуокисленные. Для выделяемых разновидностей оценены средние, минимальные и максимальные содержания полезных компонентов (табл. 12). Наиболее высокими их концентрациями отличаются массивные разности неокисленных руд, где среднее содержание никеля составляет 4,43 %, меди – 2,11 %, кобальта – 0,16 %. Содержание в полуокисленных массивных рудах почти в четыре раза ниже и составляет 1,2 масс.% никеля, 1,21 масс.% меди и 0,04 масс.% кобальта. Прожилково-вкрапленные полуокисленные разности содержат (в масс.%) никеля – 0,81, меди – 1,21, кобальта – 0,03; вкрапленные полуокисленные (в масс.%) – 0,69 никеля, 0,78 меди, 0,02 кобальта.

3.2.2. Характеристика текстурно-структурных особенностей и минерального состава руд и пород

Рудовмещающие меланократовые диориты из-за пронизывающей их сети более поздних прожилков плагиогранитов и участков, сложенных кварц-полевошпатовым агрегатом, имеют аномальный химический и минеральный состав и неоднородную структуру. Они представляют собой метасоматически измененные породы, возникшие по ортопироксенитам и меланократовым норитам или габброноритам в результате среднетемпературного калиевого щелочного метасоматоза. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа, содержание петрогенных оксидов в породе составляет (масс.%): SiO_2 – 57,5; TiO_2 – 0,545; Al_2O_3 – 14,6; ΣFeO – 5,7; CaO – 6,47; MgO – 10,4; MnO – 0,113; Na_2O – 1,58; K_2O – 0,877. Содержание серы – 0,081 масс.%. По валовому химическому составу породы близки биотит-амфиболовым кварцевым диоритам. Текстура массивная, иногда, с учетом выделений рудных минералов – линзовидно-полосчатая. Структура пойкилитовая, участками – гипидиоморфнозернистая и гранофировая. Породы сложены магнезиальной роговой обманкой (20–30%, редко до 50%), биотитом (10–20%),

полевым шпатом (5–10%, иногда до 30%), кварцем (10–20%), микропегматитом (5–25%). На отдельных участках встречается актинолит. Акцессорные минералы – апатит, рутил, циркон, монацит. Количество рудных сульфидов достигает 20–30%. Магнезиальная роговая обманка образует удлиненные призмы размером 1,5–2 мм, замещает первичный ортопироксен, а также паргасит и чермакит, которые отмечены в виде мелких (0,1–1 мм) и редких выделений при исследованиях на микрозонде. Нередко в роговой обманке отмечаются вростки антофиллита (реже – актинолита), тонкие выделения рутила. Биотит пластинчатой и чешуйчатой форм, замещается хлоритом. Субидiomорфные лейстовидные кристаллы андезина-лабрадора размером преимущественно до 1,5–2 мм, замещаются олигоклазом и альбитом.

Плагииграниты в прожилках обладают массивной текстурой, мелко- средне-зернистой гипидиоморфнозернистой структурой. Между крупными кристаллами кварца и полевого шпата развиваются мусковит и хлорит, отмечены кальцит, адуляр, встречаются турмалин и тонкочешуйчатый графит.

Как для меланократовых диоритов, так и для лейкократовых плагиигранитов характерно развитие микропегматита (рис. 18 *а, б*). Полевой шпат в микропегматитах представлен олигоклазом, по которому местами развивается ортоклаз, иногда с небольшим содержанием бария (до 3,07 масс. %, рис 19 *з*). Кварц образует ксеноморфные зерна (размером от долей мм до первых мм) и их агрегаты, а также мелкие каплевидные вростки в плагиоклазе и ихтиоглипты в микропегматите (рис. 19 *б*). Иногда ксеноморфный резорбированный кварц содержится в центре «пятен» микропегматита с вростками биотита. Вблизи контакта с микропегматитом в роговых обманках рудовмещающих пород наблюдаются округлые вростки кварца (рис. 19 *в*). Участки с микрографической структурой тесно ассоциируют с медно-никелевыми рудами. При этом, на контакте кварц-полевошпатовых агрегатов и рудной массы формируются биотит и роговая обманка (рис. 18 *а, б*).

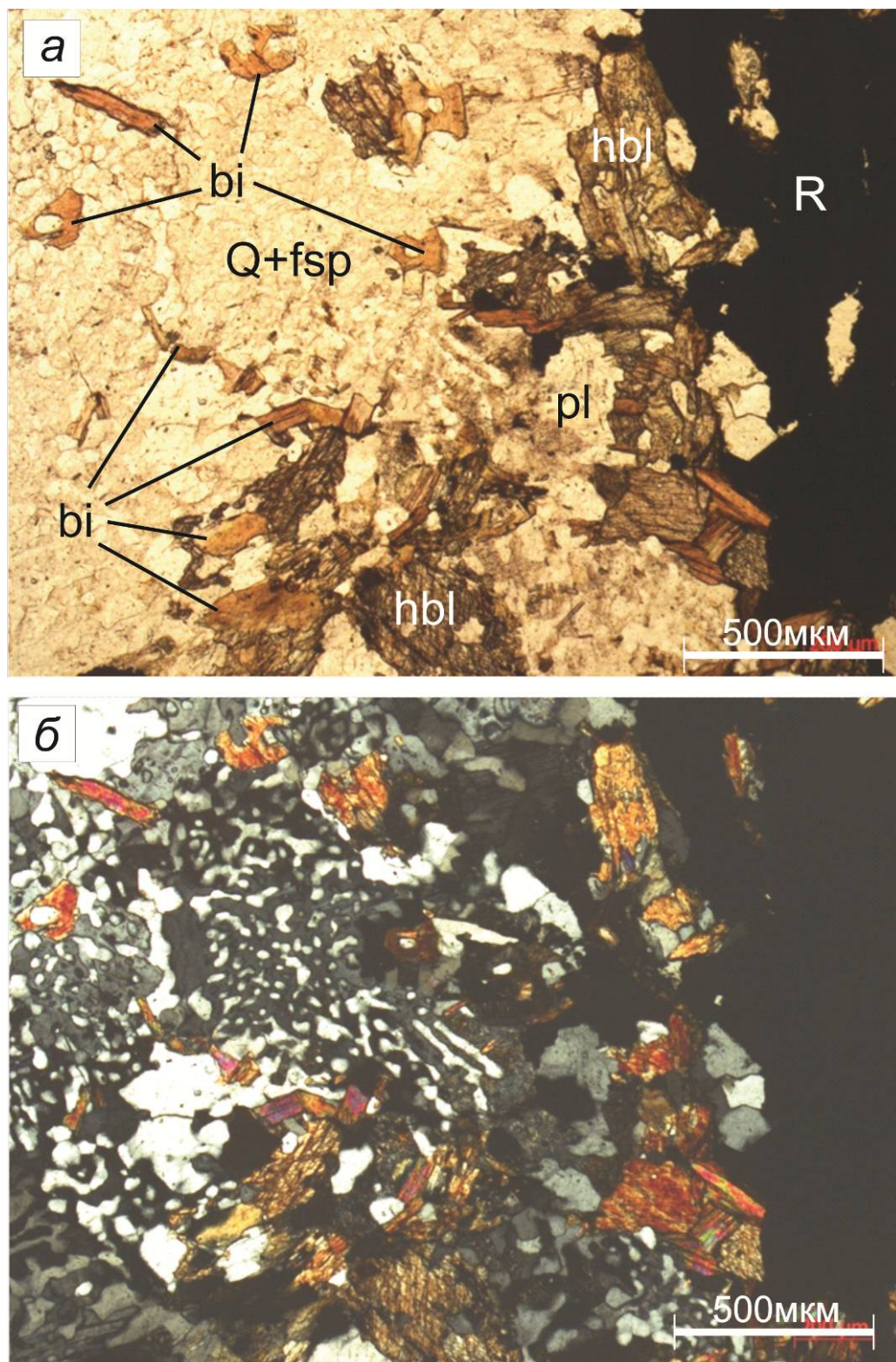


Рисунок 18. Рудовмещающие породы рудопроявления Аннабергитовая Щель. По [170], с изменениями.

Рудовмещающие породы в проходящем свете (б – николи скрещены). Состав пород: роговая обманка (hbl) – 25%, биотит (bi) – до 10%, кварц (Q) – 20%, плагиоклаз (pl) – 5–8%, микропегматит (Q+fsp) – 15%, рудное вещество (R) – 25–30%. На участке слева видна микропегматитовая структура, справа – выделения рудного минерала. Фото в проходящем свете.

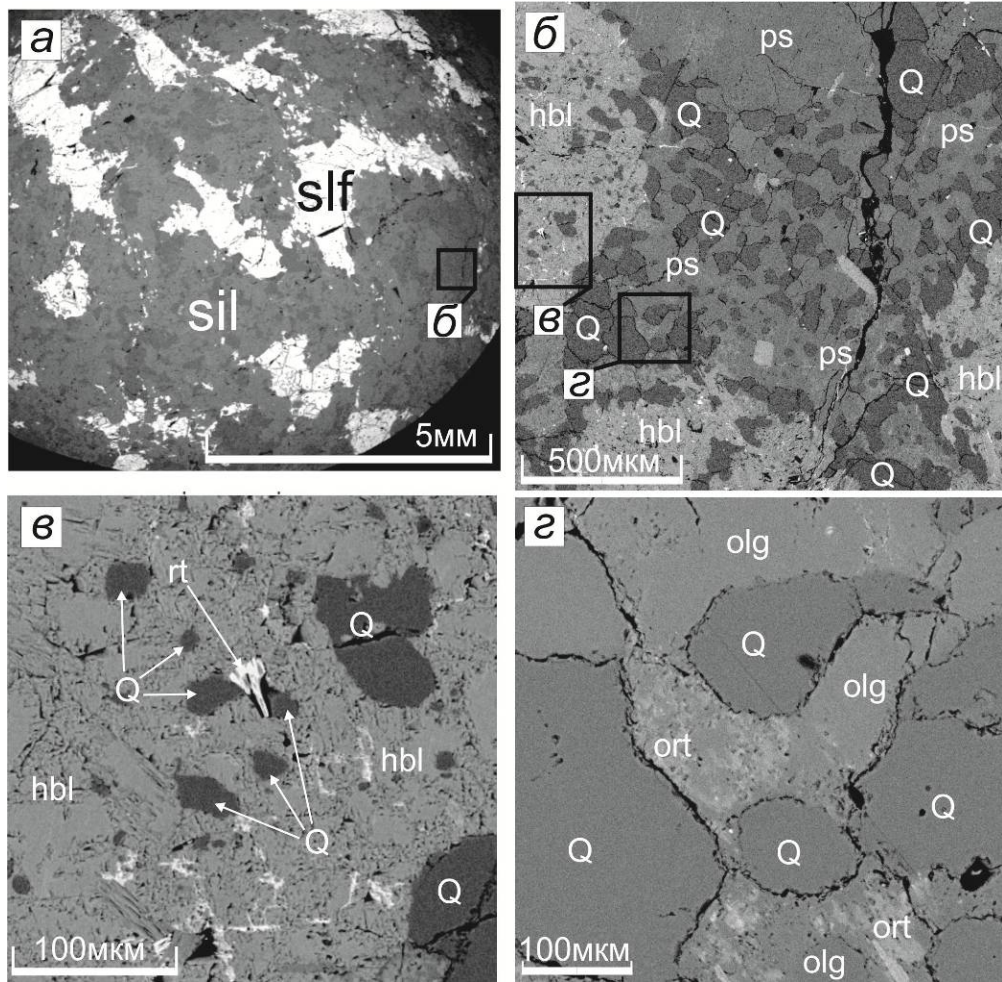


Рисунок 19. Микропегматиты рудовмещающих пород

a – соотношения сульфидных (slf) и силикатных минералов (sil); *б* – соотношения кристаллов роговой обманки (hbl) и позднего кварц-полевошпатового агрегата (ps); *в* – на увеличенном фрагменте хорошо видно замещение роговой обманки кварцем (Q); *г* – увеличенный фрагмент кварц-полевошпатового агрегата, полевые шпаты представлены преимущественно олигоклазом (olg), по которому развивается ортоклаз (ort) с повышенным содержанием бария (светлые пятна). Фото сделаны в ИВиС ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 (аналитик – С.В. Москалева).

Связанные с рудоносными породами массивные, прожилково-вкрапленные и вкрапленные сульфидные руды имеют однотипный минеральный состав [42]. Главные минералы – пирротин, халькопирит, пентландит и виоларит. Распространены также пирит и марказит. Рудное вещество образует выделения округлой, удлиненной или неправильной формы размером первые миллиметры, а также неправильные полосы шириной 2–5 мм с неровными ограничениями и отростками,

проникающими в межзерновые границы силикатов в виде цепочек вкраплений, отдельных выделений и рассеянной мелкой (0,05–1 мм) вкрапленности. Более крупные выделения имеют псевдо-микробрекчиевидную структуру с включениями всех силикатных минералов и их сростков, в том числе и микропегматита. Отмечается переотложение небольшой части рудных минералов по трещинам в породе, по межзерновым границам силикатов и по спайности в амфиболах.

3.2.3. Состав и соотношения рудных минералов

Пирротин, который относится к гексагональной модификации, образует выделения размером до 0,5 см изометричной формы во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах или слагает гнезда в рудах с массивной текстурой (рис. 20 а, б, в, г). В основном размеры изометричных зерен пирротина не превышают 1 мм (преимущественно 0,2–0,5 мм). Структура агрегатов аллотриоморфнозернистая. Образует сростки с халькопиритом, пентландитом и виоларитом. Часто отмечаются пламенивидные включения пентландита, а также его субпараллельные вросстки [42, 170]. В составе пирротина установлена примесь никеля (табл. 13).

Халькопирит образует рассеянную вкрапленность, гнезда до 1 см в диаметре, микропрожилки до 1 мм толщиной и прожилки до 1,5 см (рис. 20 в). Отмечаются отдельные мелкие зерна, размер которых не превышает 0,2 мм и мелкие пластинчатые вросстки в хлорите размером сотые доли мм. Минерал тяготеет к краевым участкам вкрапленников пирротина. В халькопирите встречаются мелкие (менее 0,05 мм) включения пентландита изометричной формы, а также выделения пирротина, игольчатого амфибола [42], а также биотита, хлорита.

Пентландит первой генерации образует идиоморфные вкрапленники размером до 1–2 мм (рис. 20 б, в) или цепочки зерен до 0,1 мм. По спайности, микро-трещинам и границам выделений замещается виоларитом. Пентландит второй генерации представляет собой пламенивидные включения в пирротине (рис. 20 б, г, д) или изометричные вкрапленники по границам зерен пирротина и халькопирита (рис. 20 в). Иногда развивается вдоль трещин в пирротине. В тонких трещинах

кристаллов халькопирита встречаются мелкие выделения аргентопентландита. Максимальное количество пентландита отмечается в массивных рудах [42, 170].

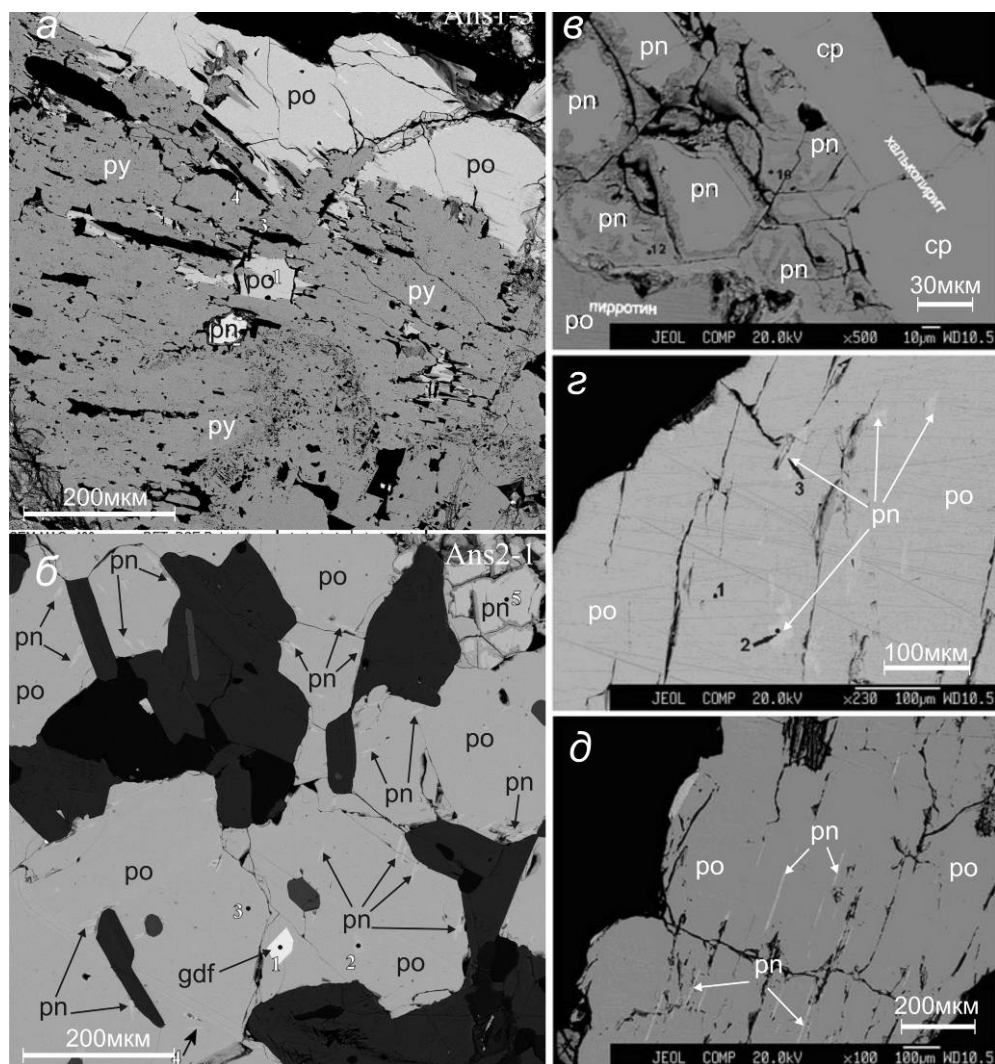


Рисунок 20. Соотношения сульфидов в массивных рудах рудопроявления Аннаберг-гитовая Щель (в, з, д – по [42], с изменениями).

а – пирит (py) замещает пирротин и включает зерна пентландита; *б* – ромбовидный кристалл герсдорфита, зерно и распадные выделения пентландита в пирротине; *в* – агрегаты пентландита среди пирротина и халькопирита; *з* – пламенивидные выделения пентландита в пирротине; *д* – субпараллельные выделения пентландита в кристалле пирротина, вероятно представляющие собой пластинки практически одинаковой толщины, развитые вдоль пинакоида {001} кристаллов пирротина. Фото сделаны на электронном микроскопе CamScan MV2300 А.Н. Некрасовым (*а, б*) и на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8100 Г.Б. Молчановой (*в, з, д*).

Виоларит замещает пентландит иногда до полных псевдоморфоз, содержит примеси кобальта (до 1,31 масс.%), иногда – серебра (до 0,01 масс.%). Отмечают-

ся значительные вариации концентраций железа и никеля (табл. 13). Пирит и марказит замещают пирротин и пентландит (рис. 20 *а*), в ряде случаев образуют сложные сростания с хлоритом. Пирит содержит до 3,77 масс.% никеля [42, 170].

Таблица 13. Представительные анализы рудных минералов проявления Аннабергитовая Щель

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	38,87	39	38,5	38,52	39,03	38,57	38,85	38,51	38,34
Fe	59,55	59,36	58,06	59,48	59,89	58,66	58,75	59,34	60,02
Ni	1,34	1,8	2,6	1,72	1,63	1,59	1,89	1,68	1,21
Сумма	99,76	100,17	99,16	99,72	100,5 5	98,82	99,49	99,53	99,58
№ пп	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S	39,11	34,67	31,67	33,79	39,54	33,92	31,2	31,67	42,57
Fe	59,57	39,79	28,65	32,79	30,82	29,95	35,46	34,7	30,18
Ni	1,45	24,88	36,37	30,69	29,94	36,23	19,58	23,11	27,25
Co	—	—	1,67	2,11	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	—	—	—	1,73	1,75	—
Ag	—	—	—	—	—	—	12,31	8,91	—
Сумма	100,12	99,34	98,36	99,39	100,3	100,1	100,28	100,14	100,00
№ пп	19	20	21	22	23	24	25	26	27
S	41,49	43,32	43,45	34,6	34,56	34,65	34,08	34,2	34,46
Fe	33,69	29,26	24,43	31,1	30,82	31,33	31,19	31,65	31,46
Ni	23,51	27,42	32,12	—	—	—	—	—	—
Co	1,31	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	34,45	34,42	34,36	34,27	34,27	33,96
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,16	99,8	100,34	99,53	100,12	99,88
№ пп	28	29	30	31	32	33	34	35	36
S	52,45	52,41	52,58	52,17	52,06	52,62	51,91	52,91	53,02
Fe	43,1	44,57	43,78	43,42	43,77	44,52	43,39	44,18	44,07
Ni	3,66	2,96	3,35	3,77	2,22	2,85	1,12	3,21	3
Tb	—	—	—	—	1,76	—	1,72	—	—
Сумма	99,21	99,94	99,71	99,36	99,81	99,99	98,15	100,3	100,09

Примечание. 1–10 – пирротин, 11–17 – пентландит, 18–21 – виоларит, 21–27 – халькопирит, 28–36 – пирит. Исследования выполнены в ИЭМ РАН на электронном микроскопе CamScan-2300 с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором на полупроводниковом Si(Li)-детекторе Link-IMSA, аналитик – А.Н. Некрасов. С использованием данных [170]

Редкие минералы представлены сульфоарсенидами никеля, галенитом, гесситом, теллуридами и сульфотеллуридами висмута, волинскитом, алтаитом, платиноидами, самородным золотом и серебром. Максимальное количество сульфоарсенидов отмечено в массивных рудах. Минерал образует идиоморфные кристаллы шестиугольной формы размером от менее 0,01 до 0,1 мм; редко – до 0,5 мм. Мелкие зерна обычно наблюдаются в халькопирите, а более крупные – в пирротине (рис. 20 б). Реже сульфоарсениды встречаются в пентландите и агрегатах пирит-марказитового состава. В сульфоарсенидах установлены включения сперрилита и ирарсита [42, 170].

3.3. Участок Восточно-Геофизический

Расположен в восточной части Шанучского рудного поля, в 5 км к юго-востоку от месторождения Шануч (рис. 21). В пределах рудного поля выделяются две рудоносные зоны – северо-западная и юго-восточная. В пределах северо-западной находятся рудные тела месторождения Шануч (рудные тела № 1, 2, 3, 4 и рудопроявление Графитовое. Участок Восточно-Геофизический находится в юго-восточной зоне [117].

3.3.1. Геологическое строение

В строении рудного поля принимают участие апотерригенные кристаллические сланцы и гнейсы камчатской метаморфической серии, которые на восточном и западном флангах перекрыты метатерригенными породами хейванской свиты. Метаморфические образования прорваны раннемеловыми плагиогранитами крутогоровского комплекса, интрузиями сложной формы дукукского комплекса норит-кортландитовой формации, с которыми связано медно-никелевое оруденение, а также пострудными позднемеловыми гранитоидами кольского комплекса. В пределах рудного поля хорошо проявлены системы разрывных нарушений субширотной и северо-западной ориентировки [100, 117].

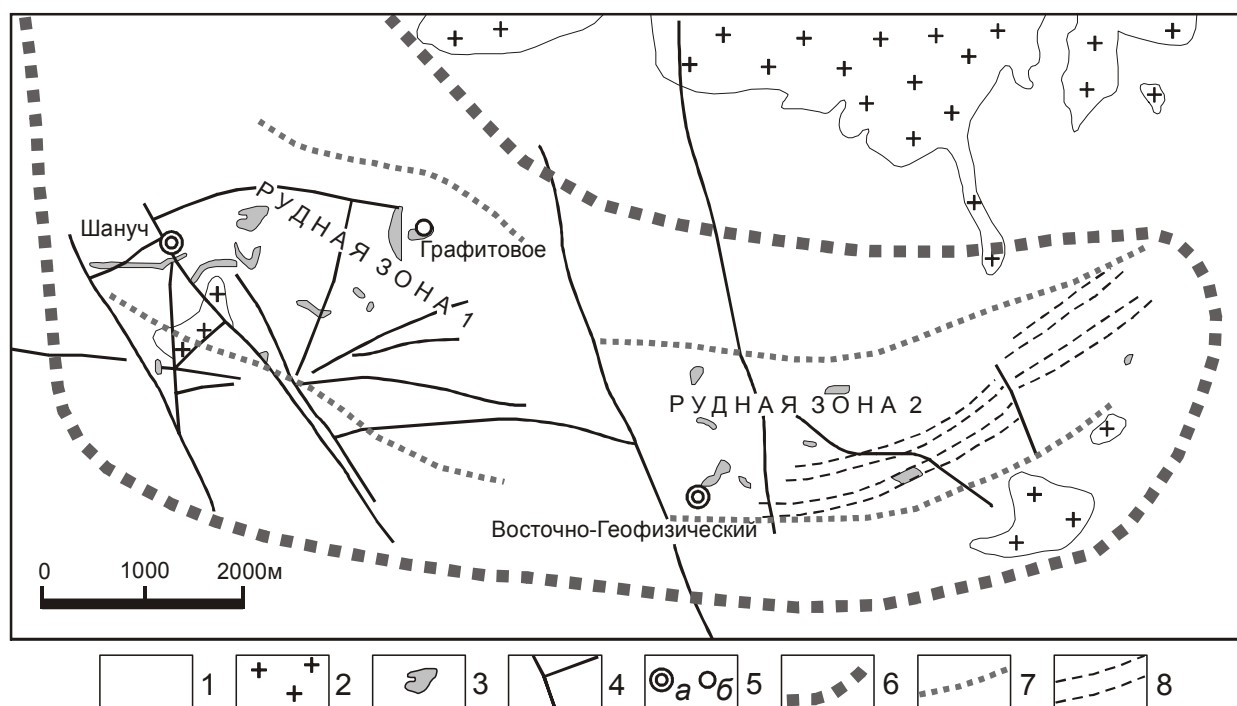


Рисунок 21. Схема геолого-структурного строения Шанучского рудного поля (по [117], с изменениями).

1 – дорудные метаморфические и интрузивные комплексы; 2 – граниты кольского комплекса; 3 – интрузии и дайки норит-кортландитовой формации; 4 – разрывные нарушения; 5 – медно-никелевые месторождения (а), рудопроявления (б); 6 – граница Шанучского рудного поля; 7 – границы рудных зон; 8 – рудоконтролирующие тектонические зоны, выявленные детальными гравиметрическими исследованиями.

На участке Восточно-Геофизическом руды приурочены к южной оконечности небольшой интрузии дукукского комплекса, которая сложена породами ряда коротландит – амфиболовый пироксенит – горнблендит и находится в опрокинутом залегании [87]. Контакты со сланцами камчатской серии местами брекчированы и сорваны. В зоне эндоконтакта, мощностью до 10 м, развиты рудоносные флогопит-хлорит-серпентин-тремолит-антофиллитовые породы, содержащие вкрапленность, гнезда и прослои сульфидов. В экзоконтакте в сланцах отмечаются прожилки состава биотит-амфиболовых диоритов мощностью до 1 см, пятна гранофира, рассеянная вкрапленность сульфидов. Мощность зоны экзоконтактовых изменений достигает 1,5 м. Оруденение сосредоточено в коротландитах и породах эндоконтакта [87] с метатерригенными породами камчатской серии (рис. 22 а, б).

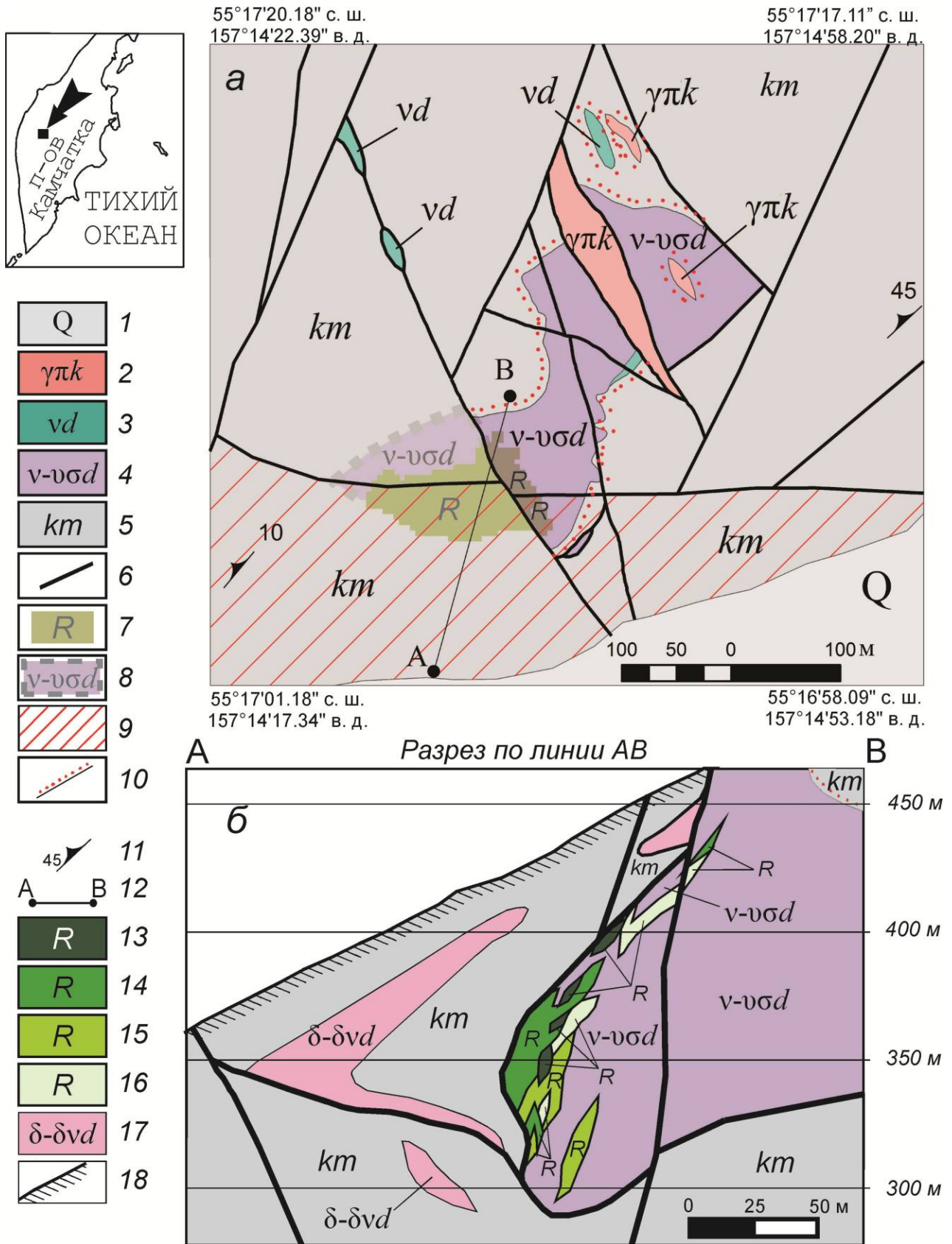


Рисунок 22. Схематическая карта (а) и разрез по линии АВ (б) участка Восточно-Геофизический [63, 61].

Условные обозначения на карте и на разрезе (1–6): 1 – четвертичные отложения, 2 – гранитоиды кольского комплекса, 3 – габброиды дукусского комплекса, 4 – интрузии дукусского комплекса сложного состава (метагаббро, метапироксениты, метагорнблендиты, метаперидотиты), 5 – метатерригенные породы камчатской серии, 6 – разрывные нарушения. Только на карте (7–12): 7 – рудное тело (под земной поверхностью), 8 – перидотиты дукусского комплекса (под земной поверхностью), 9 – зоны тектонической раздробленности, 10 – приконтактные изменения, 11 – наклонные элементы залегания метаморфической полосчатости и углы падения, 12 – линия разреза. Только на разрезе (13–18): 13 – массивные руды, 14 – брекчиевые, 15 – прожилково-вкрапленные, 16 – вкрапленные, 17 – диориты и габбродиориты дукусского комплекса, 18 – земная поверхность. Составлено по данным ЗАО НПК «Геотехнология» с изменениями автора [63, 61].

Вдоль контакта прослеживается разрывное нарушение субширотного простирания. Предполагается, что западная часть рудного тела, а также южная оконечность рудоносной интрузии незначительно смещены по разлому северо-западного простирания. Рудное тело имеет линзообразную форму размером 220×100 м. Мощность составляет около 5–10 м (в раздувах до 35 м). По структурно-текстурным особенностям выделяются массивные, брекчиевые, прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды. Часто отмечаются «промежуточные» разности. Главные рудные минералы представлены пирротинном, пентландитом и халькопиритом [63, 61, 117].

3.3.2. Содержания полезных компонентов в рудах

Оценены средние, минимальные и максимальные содержания полезных компонентов в рудном теле (табл. 14). В целом, без выделения разновидностей, содержания никеля в рудах участка Восточно-Геофизического составляют 2,83 масс.%, меди – 0,84 масс.%, кобальта – 0,09 масс.%. Сходные результаты получены по данным девяти анализов с использованием рентгенофлуоресцентного метода – 2,64 масс.% никеля, 0,82 масс.% меди и 0,1 масс.% кобальта.

Таблица 14. Содержания никеля, кобальта, меди и платиноидов в различных типах руд на участке Восточно-Геофизическом

Тип руд по текстурно-структурным особенностям	Количество анализов		Ni, масс.%	Cu, масс.%	Co, масс.%	Вид анализа	Pd, г/т	Pt, г/т	Rh, г/т	Ru, г/т	Вид анализа
По всем типам руд без разделения	123	оценка среднего*	2.83	0.84	0.09	АА	0.28	0.15	0.006	0.008	ХСП
	232	максимум	6.53	2.24	0.21	АА	0.7	0.5	0.07	0.07	ХСП
		минимум	0.52	0.15	0.016	АА	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	ХСП
	9	среднее	2.64	0.82	0.1	РФА					
Массивные и брекчиевые руды	66	оценка среднего	3.66	1.13	0.11	АА	0.30	0.14	0.006	0.009	ХСП
	129	максимум	6.53	2.24	0.21	АА	0.7	0.5	0.07	0.05	ХСП
		минимум	0.66	0.17	0.028	АА	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	ХСП
Вкрапленные руды	15	оценка среднего	1.54	0.36	0.05	АА	0.22	0.13	0.006	0.011	ХСП
	32	максимум	5.12	1.51	0.15	АА	0.5	0.3	0.02	0.05	ХСП
		минимум	1.03	0.26	0.031	АА	0.07	0.015	н.п.о.	н.п.о.	ХСП
Прожилково-вкрапленные руды	42	оценка среднего	1.98	0.55	0.07	АА	0.25	0.16	0.007	0.006	ХСП
	71	максимум	5.94	1.96	0.18	АА	0.5	0.5	0.03	0.07	ХСП
		минимум	0.52	0.15	0.016	АА	0.02	0.007	н.п.о.	н.п.о.	ХСП
Пределы обнаружения			1.2 × 10 ⁻⁶	2.5 × 10 ⁻⁷	1.2 × 10 ⁻⁶	АА	0.01	0.005	0.01	0.01	ХСП

*Примечание. Оценки средних содержаний получены путем осреднения средневзвешенных с учетом характера распределения. Средневзвешенные содержания компонентов в двухметровых интервалах скважин вычислены по результатам аналитических исследований 232 керновых проб. Для выборок, удовлетворяющих нормальному закону распределения, рассчитаны средние; логнормальному (ячейки выделены серым, с белым шрифтом) – в качестве оценки среднего принят антилогарифм среднего логарифмов содержаний. Н.п.о. – значение ниже предела обнаружения. Методы анализа: АА – атомно-абсорбционный анализ, РФА – рентгенофлюоресцентный, ХСП – химико-спектральный на платиноиды. Анализы выполнены в лаборатории ОАО «Камчатгеология». Таблица составлена с использованием данных ЗАО НПК «Геотехнология», а также по [63, 61], с уточнениями.

Наиболее высокими концентрациями главных полезных компонентов отличаются массивные и брекчиевые руды (3,66 масс.% никеля, 1,13 масс.% меди и 0,11 масс.% кобальта). Содержания во вкрапленных и прожилково-вкрапленных разностях близки (табл. 14) и составляют соответственно 1,54 и 1,98 масс.% никеля, 0,36 и 0,55 масс.% меди, 0,05 и 0,07 масс.% кобальта. В сравнении с рудами, перидотиты рудовмещающей интрузии содержат на порядок меньше никеля, примерно в восемь раз меньше меди и в пять – кобальта. Средние содержания этих металлов в метатерригенных породах камчатской серии на удалении от рудного тела составляют сотые доли процента [61]. В то же время, в экзоконтакте рудной залежи в них отмечена сульфидная минерализация мощностью от 0,8 до 5,5 м. Содержания никеля при этом варьируют от 0,12 до 1,76 масс.%. В рудах отмечена платиноидная минерализация. Повышенными концентрациями палладия отличаются массивные, брекчиевые и прожилково-вкрапленные руды, платины – прожилково-вкрапленные (табл. 14). Максимальные содержания как родия, так и рутения в рудах составляют 0,07 г/т (табл. 14).

3.3.3. Характеристика структурно-текстурных особенностей и минерального состава руд

Для массивных и брекчиевых руд характерна сидеронитовая структура. Брекчиевые руды отличаются от массивных меньшим содержанием сульфидов, при этом силикатные включения в сульфидном матриксе мельче и рассеяны более равномерно. Нередко отмечаются промежуточные текстурные разновидности. По соотношениям минеральных компонентов выделяются халькопирит-пентландит-пирротиновые и пентландит-халькопирит-пирротиновые разности.

Содержание рудных минералов в массивных рудах составляет 80–95%. Минеральный состав (в % от объема сульфидов): пирротин – 60–80, пентландит – 15–35, халькопирит – 1–10. Наблюдаются единичные зерна магнетита, ильменита, гематита, гетита, пирита и никелина. Встречаются редкие прожилки виоларита. В брекчиевых рудах содержание рудных минералов составляет 40–70%. Минеральный состав (в % от объема сульфидов): пирротин – 60–70, пентландит – 5–30,

халькопирит – 10–15. Отмечаются единичные зерна магнетита, хромита, сфалерита, кубанита, никелина, герсдорфита и виоларита, а также прожилки гетита, пирита, виоларита.

Вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды в значительной мере сходны. Во вкрапленных разностях сульфидные выделения изолированы друг от друга. При большем их количестве они сливаются с образованием более крупных «гнездовых» или линейно-вытянутых обособлений и формируют прожилково-вкрапленную текстуру. Количество рудных минералов в рудах составляет 5–20 %. Минеральный состав (в % от объема сульфидов): пирротин – 50–60, пентландит – 20–25, халькопирит – 10–15, пирит – 10–20. Отмечаются редкие зерна магнетита, выделения виоларита, гетита, единично – кубанита (?).

За пределами рудного тела наблюдается редкая вкрапленность сульфидов в различной степени измененных кортландитах и амфиболовых пироксенитах дукского комплекса. Количество сульфидов в породах при этом составляет от 1 до 5%. Сульфидные вкрапленники имеют размеры от десятых долей миллиметра до 4 мм. Структура сульфидных выделений гипидиоморфнозернистая, прожилковая, петельчатая, графическая. Минеральный состав (в % от объема вкраплений сульфидов): пирротин – 75–80, пентландит – 15–25, халькопирит – 5, виоларит – 1–2, магнетит – 5.

3.3.4. Пространственное размещение полезных компонентов в рудном теле

Пространственное размещение сульфидов в рудном теле в виде блок-модели представлено на рисунке 23 *а–в*. По данным геологоразведочных работ каждому типу руд присвоен цифровой код, соответствующий среднему содержанию сульфидов. В дальнейшем этот код был использован для расчета блок-модели. Элементарные блоки модели окрашены в соответствии с содержанием сульфидов в рудах (шкала). С долей условности можно считать, что блоки с содержанием 5–10% сульфидов соответствуют вкрапленным рудам, 10–20% – прожилково-вкрапленным, 40–70% – брекчиевым; 80–95% – массивным. Остальное – проме-

жуточные разности. Участки, где содержания сульфидов соответствуют наиболее распространенным брекчиевым рудам, размещаются преимущественно в центральной части рудного тела. Вкрапленные и прожилково-вкрапленные разности преобладают в лежащем боку, восточной и западной оконечностях рудного тела. В сечениях повышенные содержания сульфидов тяготеют к висячему боку. Массивные руды не имеют широкого распространения.

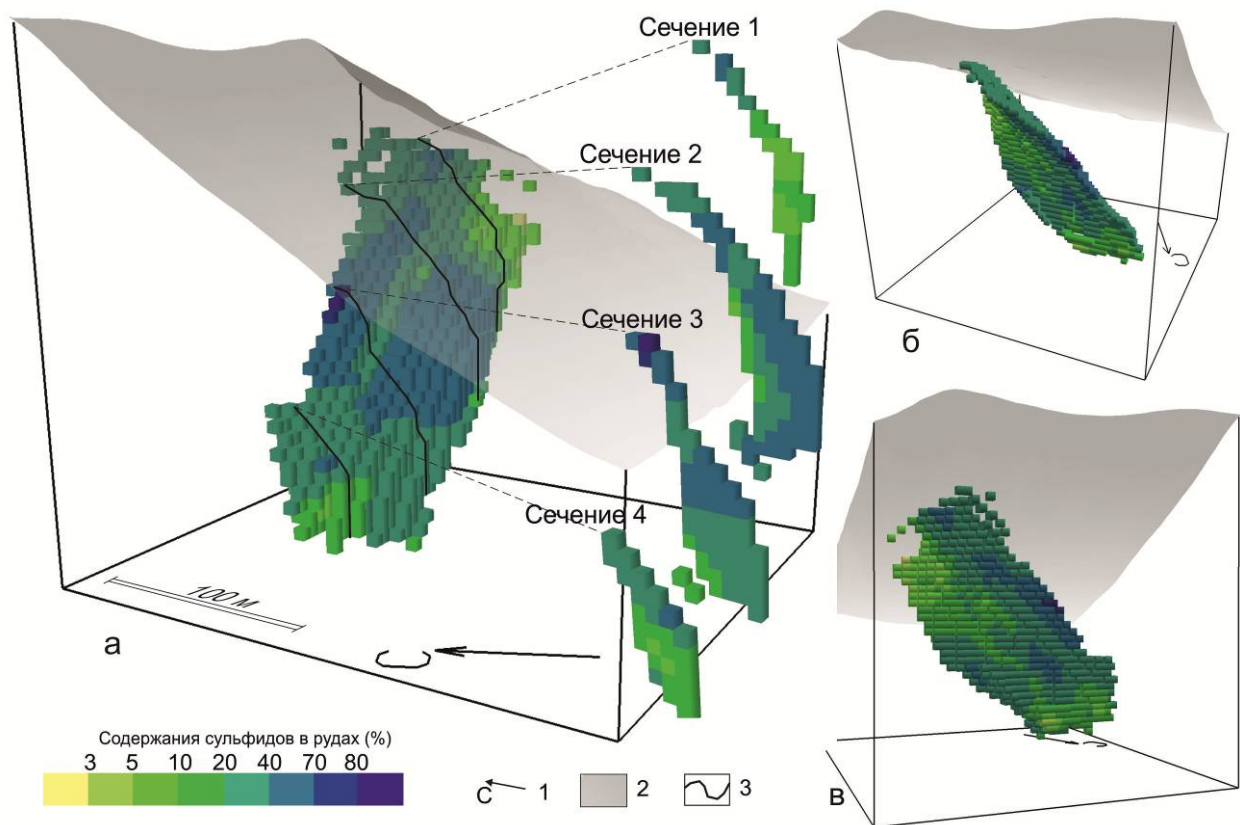


Рисунок 23. Содержание сульфидов в рудном теле в форме дискретной трехмерной модели [63].

Вид с запада и сечения (*а*), вид с севера (*б*), вид с северо-востока (*в*). Условные обозначения: 1 – направление на север, 2 – земная поверхность, 3 – линии сечений. Размер элементарного блока кубической формы – $5 \times 5 \times 5$ м. 3D-модель разработана с использованием материалов ЗАО НПК «Геотехнология».

На рисунке 24 представлена трехмерная модель и сечения рудного тела, где показано пространственное распределение никеля, меди, кобальта и платиноидов. Можно отметить следующие особенности:

- повышенные содержания меди, никеля и кобальта тяготеют к центральной части рудного тела (рис. 24 *а–в*), в сечении 1 – к его верхней части, а в сечениях 2, 3 и 4 – преимущественно к висячему боку;

- наиболее высокие содержания платиноидов в сумме (0,6–0,8 г/т) характерны для нижней части рудного тела (рис. 24 *г*). В сечениях 1, 2 и 3 повышенные содержания тяготеют к центральной, а в сечении 4 – к краевой частям рудного тела;

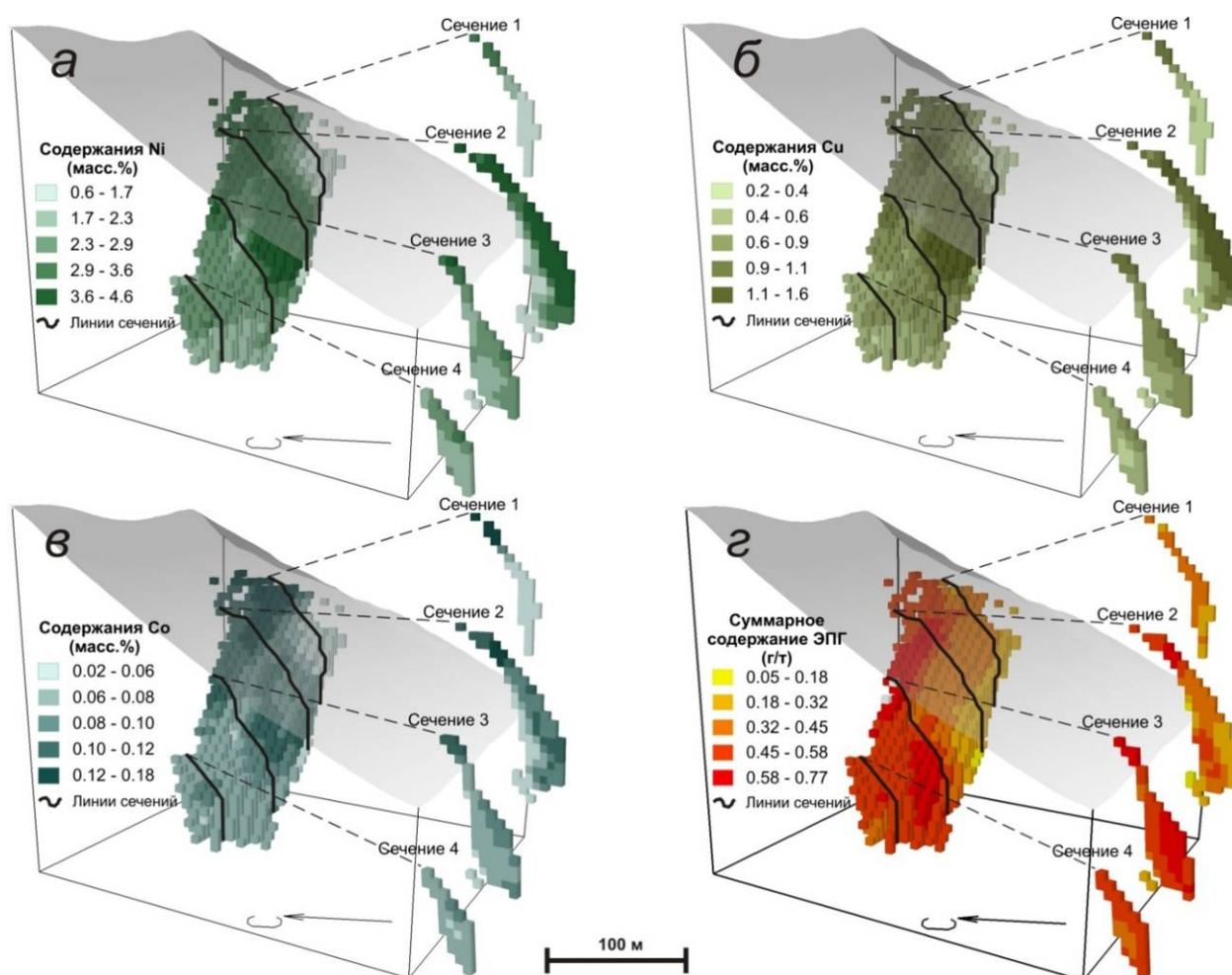


Рисунок 24. Характер пространственного распределения никеля, меди, кобальта и платиноидов в рудном теле (по [63], с изменениями).

Вид на блок-модель с юго-запада: *а* – распределение никеля, *б* – меди, *в* – кобальта, *г* – платиноидов (в сумме). 3D-модель разработана с использованием материалов ЗАО НПК «Гео-технология».

В целом, повышенные содержания платиноидов типичны для нижней части рудного тела, а меди, никеля и кобальта – для средней. Пространственные распределения меди, никеля, кобальта и платиноидов лишь до некоторой степени зависят от текстурно-структурных особенностей руд [61]. Вероятно, это является следствием перераспределения сульфидов в результате постмагматических процессов, осложняющих картину магматогенного рудоотложения.

3.3.5. Состав и соотношения рудных минералов

Пирротин образует идиоморфные кристаллы размером до 3–4 мм (рис. 25 *а–г*). На рис. 25 *б* видна округлая форма силикатных выделений в сульфидной матрице, свидетельствующая о ликвационных процессах рудообразования. Интерстиции между выделениями пирротина выполнены агрегатами пентландита первой генерации и халькопирита (рис. 25 *б–г*). По данным микрозондовых исследований, в составе пирротинов – 58,20 масс.% железа, 40,61 масс.% серы и 0,36 масс.% никеля (табл. 15).

Пентландит представлен двумя генерациями. Агрегаты раннего пентландита состоят из ксеноморфных зерен размером 0,02–1 мм, разбитых системами трещин, которые иногда выполнены виоларитом (рис. 24 *а*). Более поздний пентландит представлен пламеневидными, пластинчатыми и линзовидными выделениями в пирротинах (структура распада твердого раствора, рис. 25 *г*). Кроме того, отмечаются мелкие (сотые доли миллиметра) ксеноморфные зерна, которые развиты вместе с гематитом вдоль мелких трещин, а также в корродированной периферической зоне кристаллов пирротина. Иногда выделения позднего пентландита приурочены к периферии кварцевых прожилков в пирротиновых зернах. Выделения раннего пентландита характеризуются повышенным содержанием никеля (среднее содержание – 33,77 масс.%) и кобальта (среднее – 1,05 масс.%, табл. 15). Выделения пентландита второй генерации в пирротине обеднены никелем (среднее – 25,93 масс.%) и кобальтом (среднее – 0,41 масс.%). В то же время, они обогащены железом (в среднем 38,85 масс.%).

Халькопирит наблюдается в форме ксеноморфных выделений между ранними сульфидными минералами (рис. 25 б–г), а также образуется по трещинам. Иногда в халькопирите наблюдаются включения никелина с оторочкой герсдорфита (рис. 25 г). В составе минерала – 33,17 масс.% меди; 31,72 масс.% железа и 35,81 масс.% серы (табл. 15).

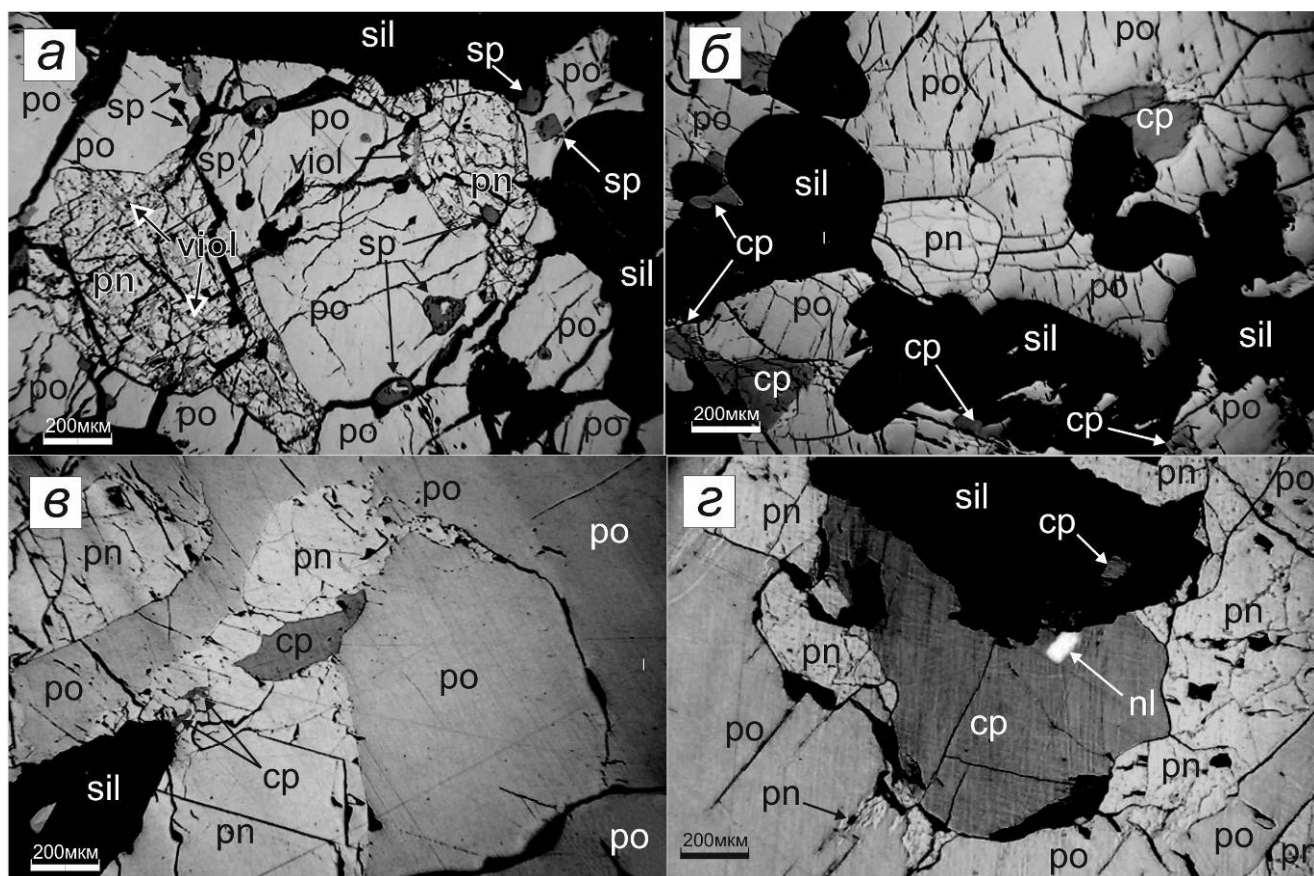


Рисунок 25. Соотношения главных рудообразующих минералов в рудах на участке Восточно-Геофизическом.

а – пирротин (po) с выделениями раннего шпинелида (sp) и пентландита (pn), в котором по трещинам развивается виоларит (viol); б – округленные обособления силикатов (sil) в сульфидном матриксе, сложенном пирротинном, пентландитом и халькопиритом (cp); в – срастание пирротина и пентландита с ксеноморфными выделениями халькопирита; г – зерна пентландита первой генерации в пирротине с пламенивидными выделениями пентландита второй генерации, зерно халькопирита с включением никелина (nl). Фото в отраженном свете.

Таблица 15. Составы главных минералов руд на участке Восточно-Геофизическом

№ пп	минерал	Содержания компонентов, масс.%					количе- ство ана- лиз
		S	Fe	Co	Ni	Cu	
1	пирротин	<u>39,64–42,42*</u>	<u>57,22–58,78</u>	—	<u>0,18–0,64</u>	—	7
		40,61	58,20		0,36		
2	халькопирит	<u>35,45–36,33</u>	<u>31,40–32,20</u>	—	<u>0,00–0,04</u>	<u>32,83–33,86</u>	7
		35,81	31,72		0,01	33,17	
3	ранний пент- ландит	<u>33,30–36,33</u>	<u>29,43–33,01</u>	<u>0,32–1,70</u>	<u>32,47–34,86</u>	—	11
		34,11	31,46	1,05	33,77		
4	поздний пентландит	<u>34,11–36,19</u>	<u>35,08–41,77</u>	<u>0,19–0,56</u>	<u>22,44–29,91</u>	—	6
		35,34	38,85	0,41	25,93		

*Примечание. В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – среднее (по [63]). Программы для анализа составлены В.М. Чубаровым. Аналитические исследования проведены на рентгеновском микроанализаторе САМЕВАХ-244 оператором Т.М. Филосовой в ИВиС ДВО РАН.

3.4. Процессы рудогенеза и последовательность минералообразования в интрузиях норит-кортландитовой формации

Рассмотренные данные по геологии, геохимии и минералогии интрузивных образований норит-кортландитовой формации и связанных с ними руд, указывают на три рудные минеральные ассоциации: пентландит-пирротиновую, пентландит-халькопирит-пирротиновую и пирит-марказитовую (табл. 16). Ассоциации последовательно формируются в результате магматогенных и высокотемпературных гидротермальных преобразований, которые сменяются низкотемпературными гидротермальными процессами. Син- и эпигенетические процессы рудообразования прослеживаются в особенностях минерального состава и соотношений минералов [105], проявлены в корреляционных взаимосвязях элементов в рудах [61].

На пострудной стадии формируются гипергенные минералы, которые наиболее широко представлены в зоне окисления Шанучского месторождения.

Таблица 16. Схема последовательности минералообразования и состав минеральных ассоциаций медно-никелевых рудопроявлений норит-кортландитовой формации

Распространение	Класс минералов	Шанучское место- рождение	Участок Восточно- Геофизический	Кувалорог	Аннабергитовая Щель	Дорудная стадия	Рудная стадия			Пострудная ста- дия	
							Минеральные ассоциации				
							Сингенетиче- ские	Эпигенети- ческие		Гипергенные	
							Пентландит- пирротиновая	Пентландит- халькопи- рит-пирротиновая	Пирит- марказито- вая		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Распространенные	Оксиды	+	+	+	+	шпинелиды					
		+	+	+	+	ильменит					
	Сульфиды	+	+	+	+		пирротин, пентландит				
		+	+	+	+			халькопирит			
		+	+	+	+				виоларит		
		+	+	+	+				пирит (Ni- пирит)		
		+	+	+	+						
	Сульфиды	+	+	+	+				сфалерит		
		+							макинавит		
		+			+				галенит		
		+	+		+				марказит		
		+							молибденит		
			+		+				кубанит		
	Арсениды	+	+	+				никелин			
		+		+				леллингит			
		+			+			сперрилит			
		+						раммельсбергит, саффлорит			
	Сульфо- арсениды	+	+	+	+			герсдорфит			
		+							кобальтин		
+				+				ирарсит			

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очень редкие	Самородные элементы	+					изоферроплатина			
		+		+			самор. платина(?)			
				+					самор. серебро	
		+		+					самор. золото	
	Сульфиды	+						годлевскит, хизлевудит(?)		
		+						полидимит, зигенит, линнеит		
		+							миллерит	
	Сульфо-арсениды	+						арсенопирит		
				+				глаукодот		
	Теллуриды, висмутиды, антимониды				+			волынскит		
					+			гессит		
		+						мелонит, брейгауптит, ульманит, котульскит		
		+						теллуrowисмутит(?), мончеит, меренскиит		
		+						майченерит		
		+			+			алтаит		
В зоне цементации и окисления	Сульфиды	+		+	+					борнит, халькозин, ковеллин
		+								грейгит
	Оксиды	+	+							гематит
		+								куприт, тенорит
	Гидроксиды	+	+	+	+					лимонит, гетит
		+								лепидокрокит(?)
	Гидрокарбонаты	+			+					азурит, малахит
	Арсенаты	+			+					аннабергит
	Силикаты	+								хризоколла
	Сульфаты	+								моренозит, рётгерсит, ярозит
	Самор. элементы	+			+					самородная медь

Примечания. + – наличие минерала (по [63], с изменениями).

3.4.1. Син- и эпигенетические процессы рудообразования

В зависимости от содержаний никеля в интрузиях норит-кортландитовой формации можно выделить три типа сингенетической сульфидной минерализации. Минерализация с низкой (сотые доли процента) концентрацией никеля проявлена в ороговикованных ксенолитах сланцев и в гранатсодержащих биотит-роговообманковых норитах приконтактной части крупных интрузий. В составе сульфидов резко преобладает пирротин в ассоциации с ильменитом, изредка отмечаются халькопирит и сфалерит.

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

Рудная кобальт-медно-никелевая минерализация с содержанием от десятых долей до целых процентов никеля связана с коротландитами, порфировидными роговообманковыми перидотитами, ортопироксенитами, габброноритами. Главные минералы руд представлены пирротинном, пентландитом и халькопиритом. Характерные соотношения сульфидов с округлыми обособлениями силикатов, образующих сидеронитовую структуру (рис. 24 б) и округлые включения и глобулы сульфидов в силикатах (рис. 13 б, 15 б, в) указывают на возникновение сульфидной минерализации вследствие ликвационных процессов при становлении интрузий норит-кортландитовой формации. Богатые руды сингенетического происхождения распространены в рудном теле участка Восточно-Геофизического (Шанучское рудное поле), а также отмечаются на рудопроявлении Рассоха (массив Кувалорог). В рудах обычно прослеживаются как сингенетическая пентландит-пирротинная минеральная ассоциация, так и пентландит-халькопирит-пирротинная, формирование которой заканчивается процессами, в результате которых образуются минералы гидротермального происхождения (табл. 16).

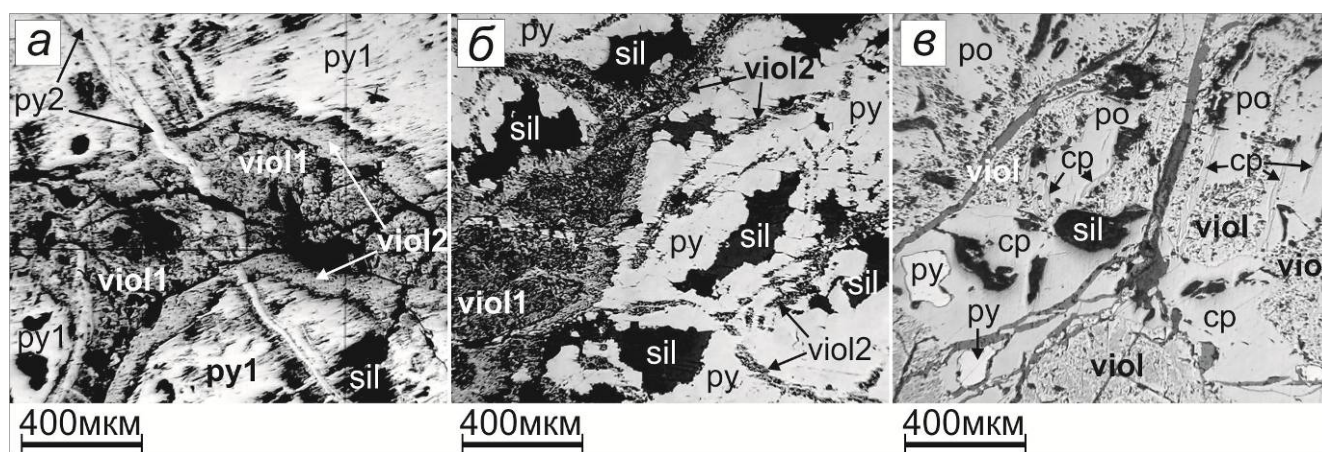


Рисунок 26. Соотношения главных рудообразующих минералов в эпигенетических рудах.

Ксеноморфные выделения виоларита первой генерации (viol1) с оторочками виоларита второй генерации (viol2) между зернами пирита первой генерации (py1). Прожилки пирита второй генерации (py2) пересекают ранние фазы (а). Оторочки виоларита второй генерации вокруг выделений пирита (py) и виоларита первой генерации (б). Пересечение прожилками халькопирита выделений пирротина и виоларита (viol), вкрапленники пирита в выделениях халькопирита (в). Фото в отраженном свете.

В результате поздних гидротермальных процессов по пентландиту развивается виоларит, по пирротину – пирит и марказит. Поздние эпигенетические процессы рудообразования широко представлены на Шанучском месторождении, где помимо сингенетических распространены руды гидротермального происхождения. Частично они образуют рудное тело № 1, и в значительной степени – тела 2, 3 и 4. Руды сложены пирротинном, халькопиритом, а также виоларитом и никелистым пиритом. Текстуры (крустификационная, поточная, сетчатая, пересекающихся прожилков, колломорфная, петельчатая) и структуры руд (концентрически-зональная, оторочковая) характерны для гидротермальных образований (рис. 26). С использованием методов корреляционного анализа выявлено, что на участке Восточно-Геофизическом поздние гидротермальные минеральные ассоциации в наибольшей степени проявлены в прожилково-вкрапленных и вкрапленных разностях руд [61].

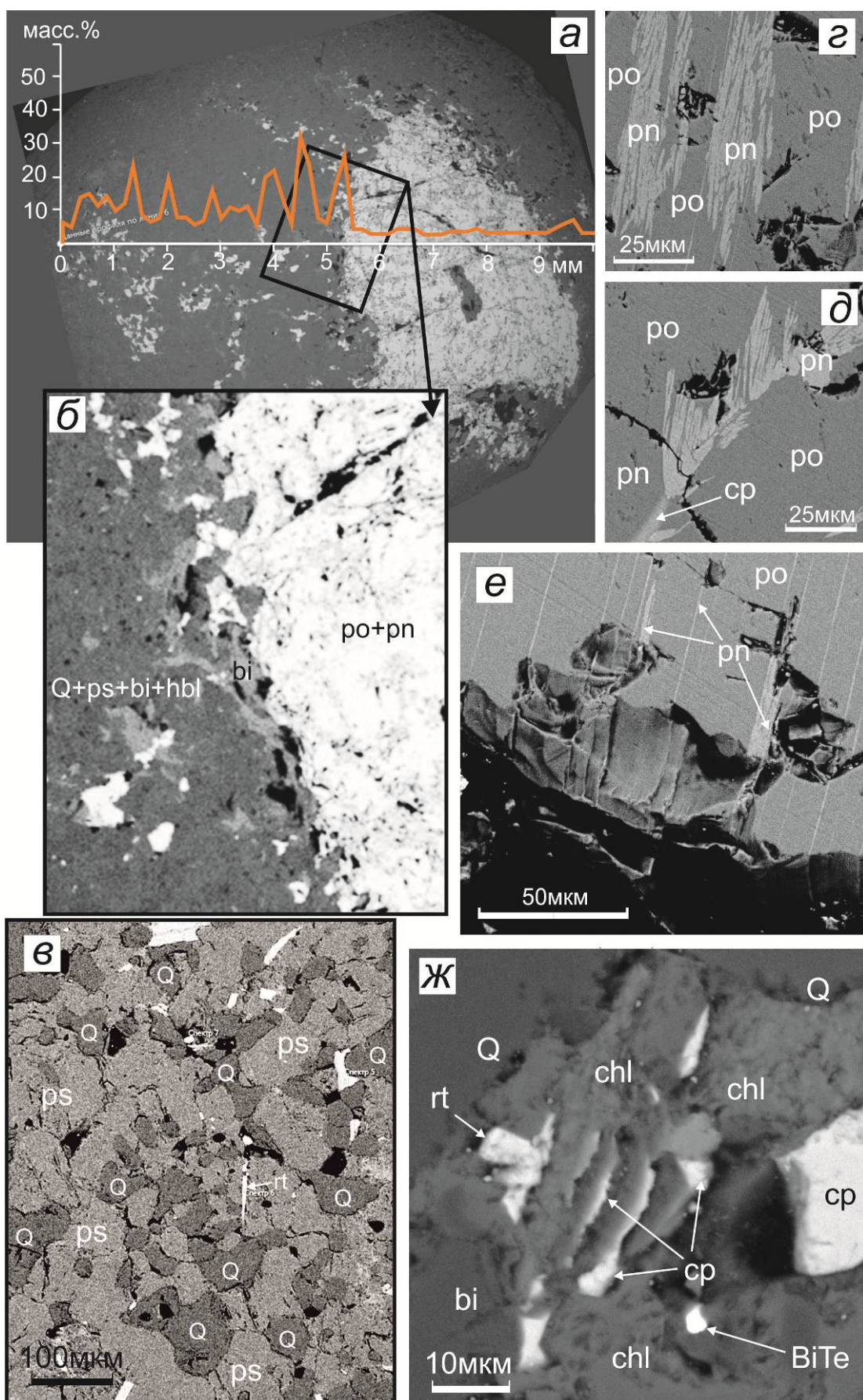


Рисунок 27. Соотношения медно-никелевой сульфидной минерализации и пострудных гранитоидов

Выделение пирротина с вростками пентландита размером около 5 мм в прожилке плагиогранита, сложенном кварцем, полевым шпатом, биотитом и роговой обманкой (*а*). В прожилке преобладает кварц-полевошпатовый агрегат (*в*). Биотит и роговая обманка в основном развиваются по краю крупного сульфидного зерна (*б*). На графике видно, что содержания мышьяка повышены у края крупного сульфидного выделения и на участках скопления мелких зерен сульфидов (*а*). Выделения пентландита в пирротине представлены вростками скелетных кристаллов, которые часто развиты в обрамлении залеченных трещин (*з*, *д*), а также тонкими субпараллельными пластинчатыми выделениями, вероятно, вдоль $\{001\}$ кристаллов пирротина (*е*). В хлорите развиваются пластинчатые выделения халькопирита, тонкие зерна соединений висмута и теллура (*ж*)

На рудопроявлении Аннабергитовая Щель встречаются руды как сингенетические, так и поздние эпигенетические, гидротермального происхождения. Кроме того, отмечаются процессы перераспределения сульфидов вследствие влияния пострудного гранитоидного магматизма, подтвержденные результатами исследований на микрозонде. На рисунке 27 *а* представлен вкрапленник пирротина размером около 5 мм в прожилке плагиогранита, который сложен преимущественно ортоклаз-олигоклаз-кварцевым агрегатом с включениями темноцветных минералов – биотита и роговой обманки. В пирротиновом выделении отмечается относительно крупное включение пентландита, а также его вростки (рис. 27 *з*, *д*, *е*). В основном это параллельные между собой пластинки практически одинаковой толщины, по-видимому, развитые вдоль пинакоида $\{001\}$ кристаллов пирротина (рис. 27 *е*). Реже в пирротине отмечаются включения пентландита в виде скелетных кристаллов, в том числе, развивающиеся по пирротину вдоль трещин, залеченных пентландитом и халькопиритом (рис. 27 *з*, *д*).

Наблюдаемые в аншлифе соотношения минералов свидетельствуют о механической дезинтеграции крупного сульфидного зерна при внедрении гранитоидов и взаимодействии сульфидов с пострудным кислым расплавом. Крупное пирротиновое выделение окружено отходящими от него изогнутыми цепочками более мелких, часто мономинеральных вкраплений пирротина и пентландита (рис. 27 *а*), при этом рудные минералы окружены реакционными каймами биотита и роговой

обманки (рис. 27 б). К выделениям темноцветных и сульфидов тяготеют арсениды и сульфоарсениды, что просматривается на графике содержаний мышьяка. При этом никель в состав темноцветных минералов не входит. Таким образом, при внедрении гранитоидов, мафиты и ультрамафиты дукукского комплекса были метасматически преобразованы вследствие привноса кремнезема и щелочей. Темноцветные минералы замещались магнезиальной роговой обманкой, антофиллитом, биотитом, кварцем; плагиоклаз – альбитом, олигоклазом и ортоклазом с повышенным содержанием бария.

Содержание никеля в составе темноцветных минералов из реакционных кайм в основном ниже предела обнаружения, что указывает на разложение преимущественно пирротина под влиянием гранитоидного расплава. Пентландит перераспределялся внутри сульфидного зерна, образуя субпараллельные вроски и обогащая пирротин никелем. Халькопирит отмечается в сростках с пирротинном, образует сростки с силикатными минералами метасоматического происхождения, что свидетельствует о его переотложении в результате воздействия пострудных гранитоидов.

Вследствие гидротермального воздействия на руды, которое, вероятно, связано с заключительными стадиями становления плагиогранитной интрузии, происходило перераспределение как никеля, так и меди. Об этом свидетельствуют выделения халькопирита явно гидротермального происхождения в виде тонких (толщиной ~ 1 мкм) пластинок, развитых вдоль спайности в хлорите (рис. 27 ж). В тех же хлоритах отмечаются повышенные, до десятых долей масс. % содержания никеля.

3.4.2. Процессы в зоне гипергенеза

Над крупными выходами сульфидных руд на земную поверхность в зоне гипергенеза формируются железные шляпы. В качестве примера можно привести зону окисления рудного тела № 1 Шанучского месторождения, которая в настоящее время уничтожена в процессе добычных работ. Ее мощность составляла от 3,5 до 7,5 м (в среднем – 4,2 м). Зона была перекрыта делювиально-

пролювиальным шлейфом современных рыхлых отложений мощностью до 5 м (в среднем около 2м). Отложения были представлены лимонитовыми брекчиями из обломков рудовмещающих пород и окисленных руд, сцементированных суглинистым материалом с примесью гидроксидов железа. Отмечено почти полное отсутствие подзоны вторичного сульфидного обогащения.

В зоне окисления Шанучского месторождения выделены частично окисленные, а также полностью окисленные и выщелоченные разновидности руд, где резко преобладают лимонит и гидрогетит, формирующие пористый матрикс. Отмечены обломочные, порошковатые, землистые, пористые, кавернозные, ячеистые, губчатые, шлаковидные и псевдоморфные текстуры [39]. В окисленных рудах широко распространены кварц, опал, халцедон, глинистые минералы. Встречаются лепидокрокит, марказит, гарниерит, мелатерит, борнит, ковеллин, халькозин, аннабергит, ярозит, нонтронит, моренозит, ретгерсит, азурит, малахит. Редко отмечаются бравоит, виоларит, рутил, циркон, гипс, тальк, золото, сперрилит. Наблюдается примесь неокисленных породообразующих и рудных минералов [39].

Формирование зоны окисления Шанучского месторождения и других рудопроявлений обусловлено действием воды и кислорода, которые приводят к гидролитическому разложению сульфидных минералов и образованию сульфатных растворов с низким рН. При этом медь, никель и кобальт выносятся в виде растворенных сульфатов и гидросульфатов, а железо выпадает из раствора в форме гидроксидов. В итоге, содержание никеля и меди в рудах снижается. В результате разложения сернокислыми и сульфатными водами алюмосиликатов образуются гели кремнезема и глинозема. При последующей дегидратации они совместно с гелями гидроксида железа образуют опал, халцедон, кварц, глинистые минералы, лимонит, гетит. В качестве особенностей преобразования сульфидных руд в зоне окисления медно-никелевых рудопроявлений и Шанучского месторождения на Камчатке можно отметить, что наиболее интенсивному выветриванию подвергаются разности с высоким содержанием силикатов. В то же время, на массивных рудах формируется плотная корка из гидрооксидов железа, под которой сохраняются неокисленные сульфиды. Важное значение для формирования зоны окисле-

ния имеют биогеохимические процессы, которые происходят под воздействием автохтонных хемолитотрофных микроорганизмов [38, 125].

Поиск и разведка залежей богатых сингенетических руд в крупных массивах норит-кортландитовой формации должна учитывать их интенсивные тектонические преобразования и блочное строение. Залегание предполагаемых донных залежей в настоящее время может быть не только субгоризонтальным, но и моноклиналильным, субвертикальным или опрокинутым, как это предполагается в интрузиве Восточно-Геофизическом [87].

В результате магматических процессов (ликвации [87]) сформировались руды участка Восточно-Геофизического на Шанучском рудном поле, а также массивные руды рудопроявления Рассоха, которое расположено в восточной части Кувалорогской интрузии. Эпигенетическое рудообразование интенсивно проявлено в рудных телах Шанучского месторождения. При этом, для переотложения рудного вещества большое значение имели поздние гидротермальные процессы, в основном проявленные вдоль проницаемых зон разрывных нарушений.

На рудопроявлении Аннабергитовая Щель отмечено перераспределение компонентов руд вследствие контактово-метасоматических процессов под влиянием пострудного гранитоидного магматизма. Темноцветные силикаты замещены магнезиальной роговой обманкой, антофиллитом, биотитом, кварцем; плагиоклаз – альбитом, олигоклазом и ортоклазом. Качественных изменений в минеральном составе рудной минеральной ассоциации не прослеживается. Вместе с тем, отмечается дезинтеграция выделений сульфидов, сложенных пирротинном, пентландитом и халькопиритом и формирование реакционных кайм темноцветных минералов вокруг сульфидных вкрапленников в гранитоидах из-за разложения пирротина при взаимодействии с кислым гранитоидным расплавом. Пентландит перераспределялся внутри сульфидного зерна, образуя субпараллельные вростки и обогащая пирротин никелем. Халькопирит отмечен в сростках с новообразованными силикатами, что свидетельствует о его переотложении в результате воздействия пострудных гранитоидов.

Наблюдаемые контактово-метасоматические преобразования рудовмещающих пород и руд проявления Аннабергитовая Щель обусловлены внедрением пострудных гранитоидов кольского комплекса. Проявления позднемелового и палеоцен-эоценового гранитоидного магматизма на Камчатке связывают с региональными этапами тектоно-магматической активизации, результатами которых стали метаморфические изменения, мигматизация и гранитизация отложений Камчатского срединного массива в целом [35, 48, 112]. Влияние гранитоидного магматизма на перераспределение рудного вещества также прослеживается в районе медно-никелевого рудопроявления Северное (в 4 км к северу от рудопроявления Аннабергитовая Щель). По данным сотрудников ЗАО НПК «Геотехнология», здесь отмечены жильные мелкозернистые мусковит-биотитовые микроплагиограниты, несущие повышенные количества пентландита, виоларита и халькопирита.

Глава 4. Формирование никелевой минерализации в образованиях дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций

Никелево-медная минерализация, связанная образованиями дунит-гарцбургит-габбровой формации, охарактеризована на примере объектов, расположенных на Восточной Камчатке:

- аваруитовой и сульфидно-самородной никелево-медной минерализации в оливиновых вебстеритах в гипербазитовом массиве горы Солдатской на п-ове Камчатский Мыс (Восточная Камчатка);
- медноколчеданных с никелем и кобальтом проявлений и пунктовминерализации в блоках гипербазитах из зон серпентинитового меланжа на о-ве Карагинском и п-ове Озерном.

4.1. Никелевая минерализация в гипербазитовом массиве г. Солдатской дунит-гарцбургит-габбровой формации

4.1.1. Геологическое строение

Строение и состав массивов пород основного и ультраосновного состава дунит-гарцбургит-габбровой формации на п-ове Камчатский Мыс позволяют рассматривать их как фрагменты офиолитовой ассоциации [127]. Размещение массивов контролируется зоной наиболее интенсивных тектонических поднятий и основными разрывными нарушениями района (рис. 28). Отдельные элементы офиолитового разреза образуют изолированные массивы, при этом блоки гипербазитов нередко обрамлены зонами меланжа, мощность которых в ряде случаев составляет сотни метров. Самое крупное тело гипербазитов – массив горы Солдатской, площадь которого составляет около 50 км², расположен в верховьях реки Белой и имеет неправильную, удлиненную в меридиональном направлении форму. Наиболее крупный блок габброидов – массив горы Оленьей располагается к югу от него. Другие тела гипербазитов и габброидов имеют площадь первые квадратные километры.

Взаимоотношения между массивами основного и ультраосновного состава преимущественно тектонические, что приводит к противоречивым мнениям относительно их принадлежности к единому офиолитовому разрезу. Относительно слабо тектонизированный переход между гипербазитами и габбро, представленный полосчатым комплексом, обнажён в районе г. Осыпь (рис. 28), где [7, 141]. Породы на контакте тектонизированы, однако, полученные данные свидетельствуют в пользу постепенного, нормального контакта гипербазитов и габброидов через расслоенный комплекс. В зоне перехода гипербазиты (до 1 м) чередуются с габбро и полосчатыми габбро (до 50 м). Вблизи зоны перехода в неясном залегании встречены вебстериты и клинопироксениты, найдена глыба оливин-хромитовой породы. В дунитах местами отмечается обогащенная хромитовая минерализация в виде шпиров размером до 5 см и прожилков мощностью 1–2,5 см.

Наиболее распространенные породы гипербазитов – дуниты и гарцбургиты – массивные зеленые, серо-зеленые, среднезернистые, разноморфнозернистые породы с панидиоморфнозернистой структурой. Сложены форстеритом (более 90%) с содержанием Fa в среднем 8,79%, энстатитом (менее 10%), клинопироксеном (обычно е.з.), хромитом (обычно около 1%). В ортопироксенах отмечаются вросстки клинопироксена. Встречаются дуниты практически мономинерального состава, состоящие из оливина и незначительного количества (около 1%) хромита. Гарцбургиты отличаются от дунитов содержанием ортопироксена более 10%. Хромит представлен как идиоморфными кристаллами, так и зернами неправильной формы размером преимущественно от долей до 1–2 миллиметров. В дунитах отмечаются шпирь хромита и обогащенная хромитовая минерализация.

В пределах массива г. Солдатской участками отмечено «переслаивание» дунитов и гарцбургитов. Мощность «слоев» от десятков сантиметров до первых метров. В основном они разбиты на отдельные линзы, контактирующие по тектоническим трещинам с зеркалами скольжения. Для дунитов характерна обогащенная хромитовая минерализация до 5%. Она представлена вкрапленниками хромита размером до 5–10 мм и шпироподобными выделениями размером до 5 см.

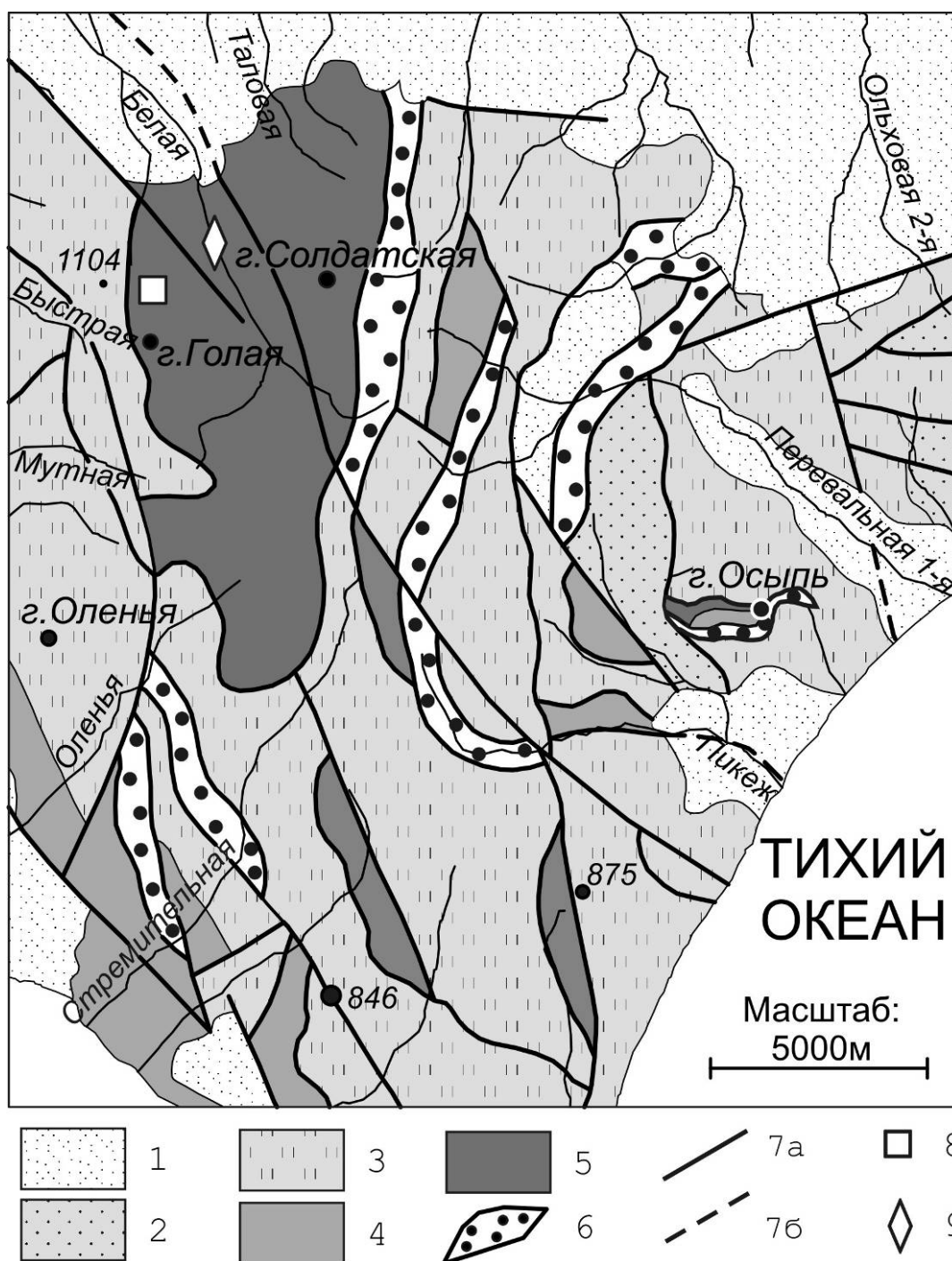


Рисунок 28. Обзорная схема геологического строения южной части полуострова Камчатский Мыс (по [7], с изменениями).

Условные обозначения. 1 – рыхлые плиоцен-четвертичные отложения (морские, аллювиально-морские, аллювиальные, флювиогляциальные); 2 – верхнемеловые песчаники пикежской свиты. Офиолитовая ассоциация: 3 – ниже-верхнемеловые вулканогенно-кремнистые отложения смагинской свиты; 4 – габброиды; 5 – протрузии гипербазитов; 6 – полимиктовый и мономиктовый серпентинитовый меланж. 7 – разрывные нарушения: установленные (а), предполагаемые (б); 8 – место находки вебстеритов с медно-никелевой минерализацией; 9 – место отбора шлиховой пробы с зернами аваруита.

Дуниты и гарцбургиты обычно в разной степени серпентинизированы, вплоть до образования серпентинитов. В начальной стадии в дунитах и гарцбургитах развивается серпофит (хризотил), образуя петельчатую, решетчатую структуру. Ортопироксены замещаются баститом, иногда тальком, амфиболом. Нередко наблюдаются несколько систем трещин, которые выполняются серпофитом или тонковолокнистым хризотилом. Отмечаются серпентиниты с листоватыми, пластинчатыми структурами, образуемыми антигоритом. Вместе с серпентином в разных количествах выделяется тонкий магнетит. Иногда серпентин замещается бруситом. Эпигенетические преобразования гипербазитов в значительной степени обусловлены тектоническими процессами. В результате интенсивной тектонической переработки в дунитах и гарцбургитах возникают полосчатые текстуры и гранобластовые структуры с крупными, продолговатыми зернами (порфирокластами) и мелкими, перекристаллизованными необластами оливина. При деформации в близповерхностных условиях перекристаллизации гипербазитов не происходит и порода подвергается дроблению. Трещины обычно заполняются серпентином и тонкими выделениями магнетита. Иногда по катаклазированным участкам вследствие метасоматических преобразований образуется амфибол. Кроме серпентина, по прожилкам развиваются тальк, карбонат и пренит.

С гипербазитами ассоциируют бесплагноклазовые основные породы – вебстериты с сульфидной минерализацией, клинопироксениты и вебстериты с магнетитом, а также оливиновые клинопироксениты с хромистой шпинелью.

В целом, минеральный и химический состав пород, слагающих массив, соответствует характеристикам ультраосновных и основных пород нормального ряда. За исключением оливиновых вебстеритов, они характеризуются низким содержанием серы, и, соответственно, сульфидов [5, 64, 62, 99].

4.1.2. Сульфидно-самородная никелево-медная минерализация в оливиновых вебстеритах

Разрозненные коренные выходы оливиновых вебстеритов с сингенетической сульфидно-самородной минерализацией встречаются на северном склоне г. Голая

(рис. 28) на площади 100х100 м. Они представляют собой редкие отдельные обособления неправильной формы размером от десятков сантиметров до первых метров среди вмещающих гарцбургитов [64, 62, 141]. Из-за осыпей на склоне и отсутствия контрастных ограничений в коренных выходах морфология тел не установлена. Отсутствие видимых контактовых изменений позволяет рассматривать вебстериты в качестве фациальной разности в составе пород офиолитового комплекса. Можно предположить, что рассматриваемые породы близки к жильным ультрамафитам, которые в данном случае не имеют характерных выраженных очертаний.

Оливиновые вебстериты – массивные зеленовато-серые среднезернистые породы с видимыми вкрапленниками хромита, сульфидов и самородной меди (рис. 29, а). Структура панидиоморфнозернистая, участками пойкилитовая. Породы сложены энстатитом ($\text{En}_{88,3}\text{Fs}_{9,7}\text{Wo}_{2,0}$, до 70–80%), форстеритом (Fo от 90,05 до 92,72 мол.%, до 10%), диопсидом ($\text{En}_{48,7}\text{Wo}_{47,4}\text{Fs}_{4,0}$, до 10–15%) и сульфидами (до 5–10%), а также акцессорными хромшпинелидами и самородными фазами (до 1%). Оливины редко – хризолитами (один из анализов показал содержание 12,11% фаялитового минала). Оливин и клинопироксен часто отмечаются в виде тонких (0,1–0,3 мм) вростков в ортопироксене (рис. 29, б, в, г, д). Встречаются участки размером в первые сантиметры, в которых оливин преобладает (рис. 29, а). По редким трещинам в породе наблюдается серпентин, который соответствует формуле $(\text{Mg,Fe})_6[(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ [62].

Рудные минералы представлены хромшпинелидами, пентландитом, халькопиритом, медно-никелевыми сульфидами, троилитом, макинавитом, кубанитом, борнитом с подчиненными количествами аваруита, самородной и платинистой меди, а также тонких (1–3 мкм) выделений самородного золота.

Оливиновые вебстериты представляют собой высокомагнезиальные породы нормального ряда. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа, содержание петрогенных оксидов составляет (масс.%): SiO_2 – 51,35; TiO_2 – 0,028; Al_2O_3 – 2,1; ΣFeO – 7,17; CaO – 2,39; MgO – 33,12; MnO – 0,13; Na_2O – 0,02; K_2O – 0,018. Содержание серы составляет 0,65 масс.% [39]. Повышенные концентрации меди

(1389 г/т) и никеля (6411 г/т) в оливиновых вебстеритах связаны с сульфидной минерализацией и самородными фазами. Высокое содержание хрома (6384 г/т) обусловлено хромсодержащими пироксенами и хромшпинелидами. Ванадий (113 г/т) изоморфно входит в состав шпинелидов. Концентрация кобальта составляет 123 г/т, цинка – 44 г/т. По данным М.Е. Бояриновой [7, 141], породы содержат 0,3 г/т платины, 0,3 г/т палладия, 0,01 г/т родия и 0,015 г/т рутения.

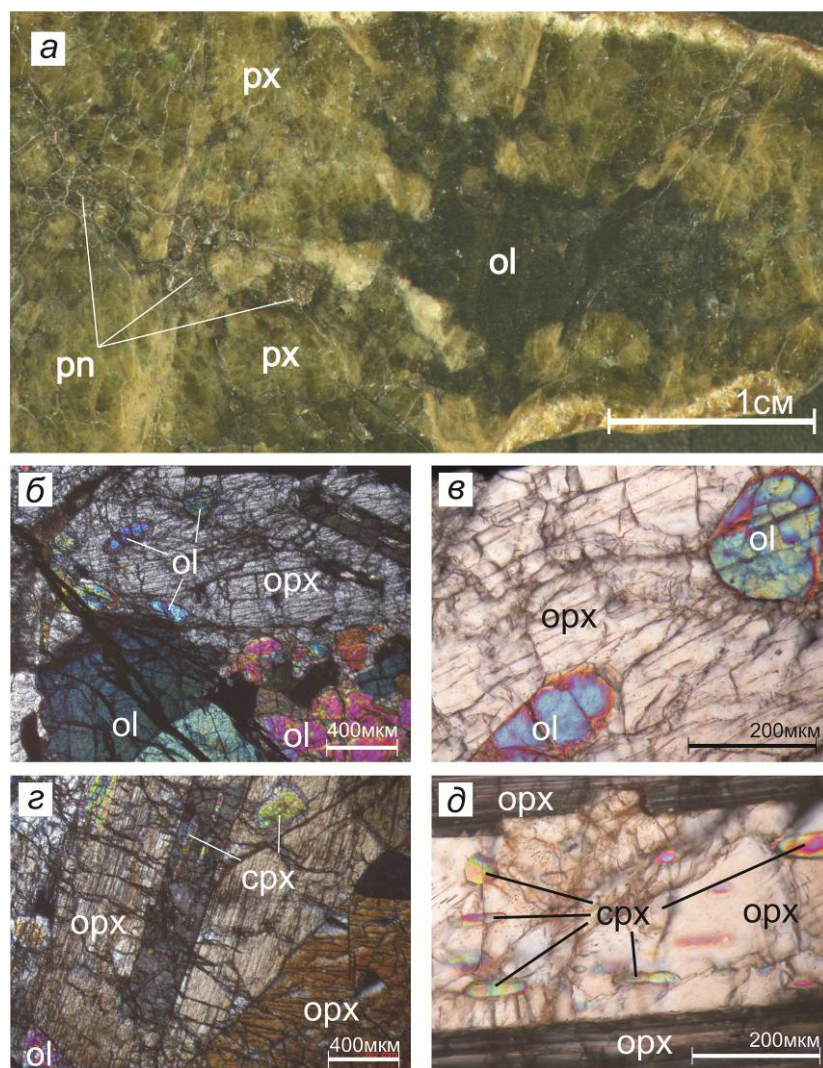


Рисунок 29. Оливиновые вебстериты.

Общий вид в полированном образце (а): светлые участки сложены преимущественно пироксеном (рх), темные – оливином (ол), выделения пентландита (рп) тяготеют к участкам, сложенным пироксенами. Породы в проходящем свете при скрещенных николях (б, в, з, д): б – пойкилитовые вросстки оливина в ортопироксене (орх); в – то же, увеличенный участок зерна ортопироксена с вростками оливина; з – двойник кристаллов ортопироксена с вростками клинопироксена (срх); д – то же, увеличенный фрагмент двойника ортопироксена, в одной из двойниковых полос (светлое) видны вросстки клинопироксена.

4.1.3. Составы и соотношения рудных и породообразующих минералов в оливиновых вебстеритах

Рудные минералы представлены хромшпинелидами, пентландитом, халькопиритом, медно-никелевыми сульфидами, троилитом, макинавитом, кубанитом, борнитом, с подчиненными количествами аваруита, самородной и платинистой меди, а также тонких (1–3 мкм) выделений самородного золота.

Хромшпинелиды образуют округлые и резорбированные зерна неправильной формы размером 0,5–1,5 мм. Отмечается слабо проявленная зональность – к краевой части зерен уменьшается содержание хрома и возрастает содержание алюминия. При этом состав изменяется от алюмохромита до хромпикотита (табл. 17). Отмечается обрастание хромшпинелидов выделениями пентландита (рис. 30 а).

Сульфиды образуют цепочки тонких выделений вытянутой и округлой формы размером до 5–20 мкм в ортопироксенах (рис. 30 б), а также ксеноморфные обособления размером до 2–5 мм (рис. 30 в). В цепочках преобладает пентландит, отмечаются медно-никелевые сульфиды, борнит. Крупные выделения сложены пентландитом ($\text{Fe}_{5,7}\text{Ni}_{3,3}\text{S}_8$) и минералами, сходными с ним по составу, но с повышенным содержанием меди (табл. 18). Подобные медно-никелевые сульфиды были исследованы в лерцолитах перидотитового массива Гороман на о-ве Хоккайдо в ассоциации с магнетитом, пентландитом, троилитом, хизлевудитом, борнитом и самородной медью [132]. По данным японских исследователей, в отличие от пентландита они представляют собой тетрагональные сульфидные фазы – сугакиит $\text{Cu}(\text{Fe}, \text{Ni})_8\text{S}_8$, гороманиит $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Cu})_9\text{S}_8$ и саманиит $\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Ni})_7\text{S}_8$ [132, 133]. Крупные зерна пентландита замещаются по трещинам аваруитом (табл. 19; рис. 30 г, д), образование которого связано с восстановлением сульфидных фаз. В выделениях, сложенных пентландитом и медно-никелевыми сульфидами, наблюдаются неправильной формы выделения самородной меди (рис. 30 е). Аваруит при этом отмечается в меньшей степени. Самородная медь развивается также по краям сульфидных выделений и выполняет трещины в рудных (рис. 30 г, ж) и силикатных (рис. 30 з) минералах, образуя дендриты. Содержит незначительную примесь железа, иногда никеля (табл. 19).

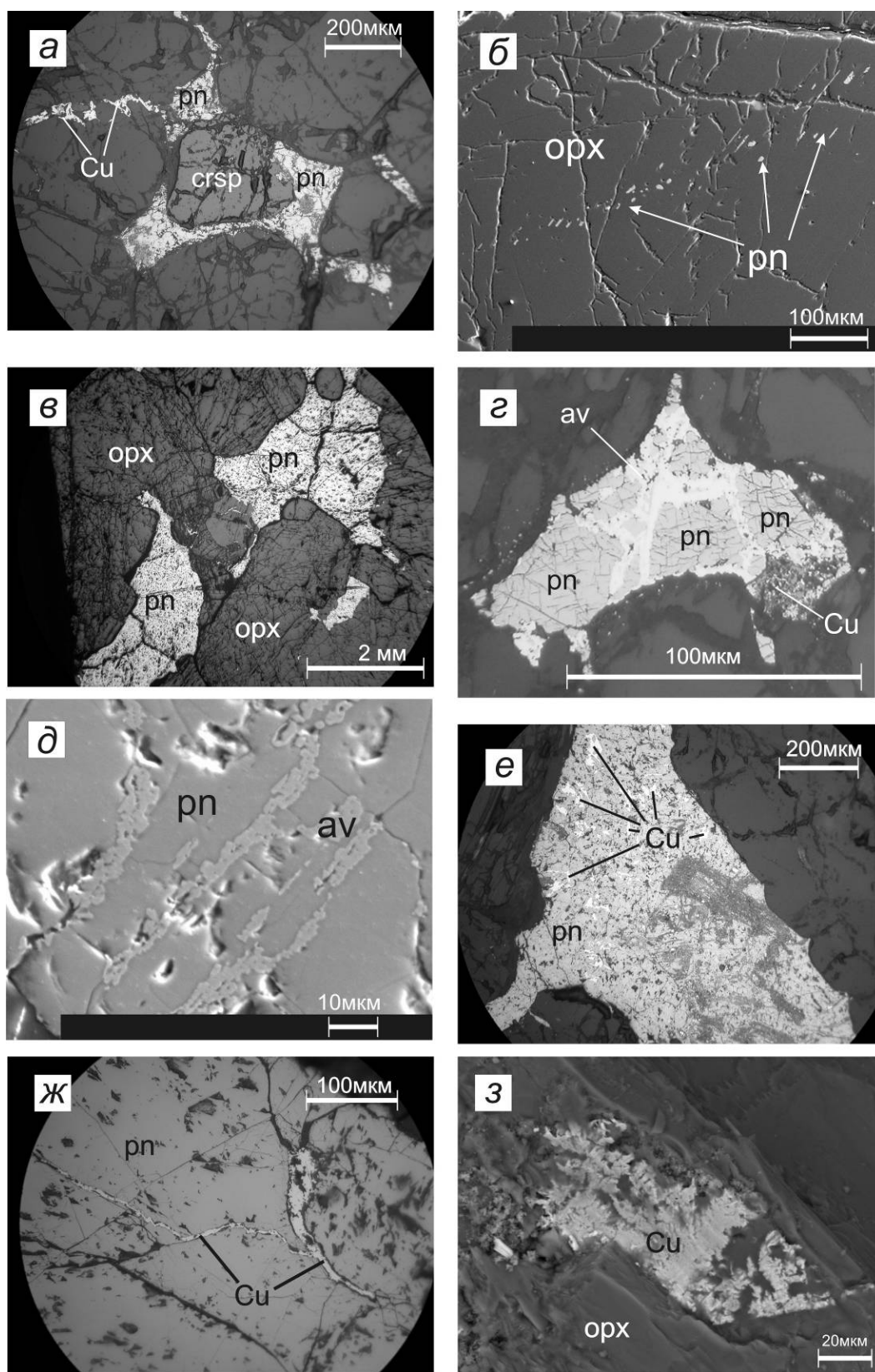


Рисунок 30. Морфология выделений рудных минералов в оливиновых вебстеритах [64, 62].

Кристалл хромшпинелида обрастает пентландитом, по трещинам в породообразующих минералах в обрамлении пентландита видны выделения самородной меди (а). Морфология сульфидных выделений (б, в): б – цепочка тонких выделений сульфидов (светлое) в ортопирок-

сене; *в* – форма крупных выделений пентландита среди ортопироксенов, отчетливо виден ксеноморфизм сульфидных выделений по отношению к силикатным минералам. Замещение пентландита вдоль трещин аваруитом (*г, д*): *г* – частично замещенный аваруитом (светлое) пентландит, по краю зерна – самородная медь; *д* – характер замещения пентландита аваруитом (светло-серое) вдоль трещин отдельности – выделения аваруита разрастаются от трещин. Характер выделений самородной меди (*е–з*): *е* – выделения самородной меди в зерне, сложенном пентландитом и медно-никелевыми сульфидами; серое в сульфиде – тени разложенных и замещенных минералов, вероятно – силикатов; *ж* – самородная медь по трещинам в пентландите; *з* – дендриты самородной меди по трещинам спайности в ортопироксене. Фото сделаны в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН: в отраженном свете (*б, в, г, е, ж*); на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 (*а, д*); в отраженных электронах на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO 50XVP (*з*).

Таблица 17. Представительные составы хромшпинелидов из вебстеритов (масс.%)

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№ зерна	7 ц*	7 к	8 ц	8 к	14 ц	14 к	17 ц	17 к	18 ц	18 к	1
Al ₂ O ₃	28,06	28,7	27,54	28,43	31,36	33,85	26,19	27,48	26,66	28,05	23,3
FeO	15,36	15,46	15,55	15,52	17,22	19,41	16,48	15,98	15,55	14,91	24,85
Fe ₂ O ₃ **	1,72	1,73	0,2	1,43	1,51	2,2	0,72	0,66	0,83	0,72	0,76
Cr ₂ O ₃	40,48	39,03	41,86	39,66	36,03	30,69	42,01	41,2	42,25	39,92	42,22
MgO	13,64	13,46	13,66	13,41	12,67	10,96	12,79	12,99	13,23	13,49	7,26
V ₂ O ₃	—	—	0,36	—	—	—	0,37	—	—	—	0,62
NiO	—	—	—	—	—	0,42	—	—	—	—	—
Сумма	99,26	98,38	99,17	98,45	98,79	97,53	98,56	98,31	98,52	97,09	99,01
Al	7,97	8,20	7,84	8,13	8,88	9,70	7,58	7,92	7,68	8,12	7,05
Fe ²⁺	3,10	3,13	3,14	3,15	3,46	3,95	3,38	3,27	3,18	3,06	5,34
Fe ³⁺	0,31	0,32	0,04	0,26	0,27	0,40	0,13	0,12	0,15	0,13	0,15
Cr	7,72	7,48	8,00	7,61	6,85	5,90	8,16	7,96	8,17	7,75	8,57
Mg	4,90	4,87	4,92	4,85	4,54	3,97	4,68	4,73	4,82	4,94	2,78
V	—	—	—	—	—	—	0,07	—	—	—	0,12
Ni	—	—	—	—	—	0,08	—	—	—	—	—
Сумма	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Примечание. * ц – центр зерна, к – край зерна; ** рассчитано по стехиометрии. Исследования проведены в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100, аналитик – Г.Б. Молчанова. По [64, 62].

Таблица 18. Представительные составы сульфидов из вебстеритов (масс.%)

№ пп	1	2	3	4	5	6	7
Fe	40,24	40,76	40,94	42,44	42,66	41,35	39,92
Ni	25,18	24,94	25,75	23,61	23,28	24,97	25,97
Cu	0,07	0,07	—	—	—	—	—
S	34,27	34,7	32,81	33	33,09	32,6	32,72
Сумма	99,76	100,47	99,5	99,04	99,03	98,92	98,62
№ пп	8	9	10	11	12	13	14
Fe	40,3	40,97	43,87	42,95	7,9	55,56	62,33
Ni	22,52	23,03	16,43	16,22	—	8,9	—
Cu	2,85	2,87	5,31	6,54	65,38	—	0,23
S	32,53	32,64	33,26	31,99	23,39	34,94	35,79
Сумма	98,21	99,51	98,86	97,7	96,68	99,4	98,35

Примечание. 1–7 – пентландит с низким содержанием меди; 8–11 – медно-никелевые сульфиды; 8 и 9 – составы, сходные с гороманиитом, 10 и 11 – составы, сходные с сугакиитом, 12 – борнит, 13 – макинавит; 14 – троилит. Исследования проведены в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100, аналитик – Г.Б. Молчанова. По [64, 62].

Таблица 19. Химический состав аваруита и самородной меди из вебстеритов (масс.%)

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fe	34,98	28,74	32,12	1,63	0,6	0,73	0,6	3,15	1,72
Ni	64	70,36	66,57	1,61	—	—	—	0,71	—
Cu	—	—	—	96,01	98,41	98,87	100,14	96,49	98,85
Сумма	98,98	99,1	98,69	99,26	99,01	100,68	100,44	100,35	100,57

Примечание. 1–3 – аваруит; 4–9 – самородная медь. Исследования проведены в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100, аналитик – Г.Б. Молчанова. По [64, 62].

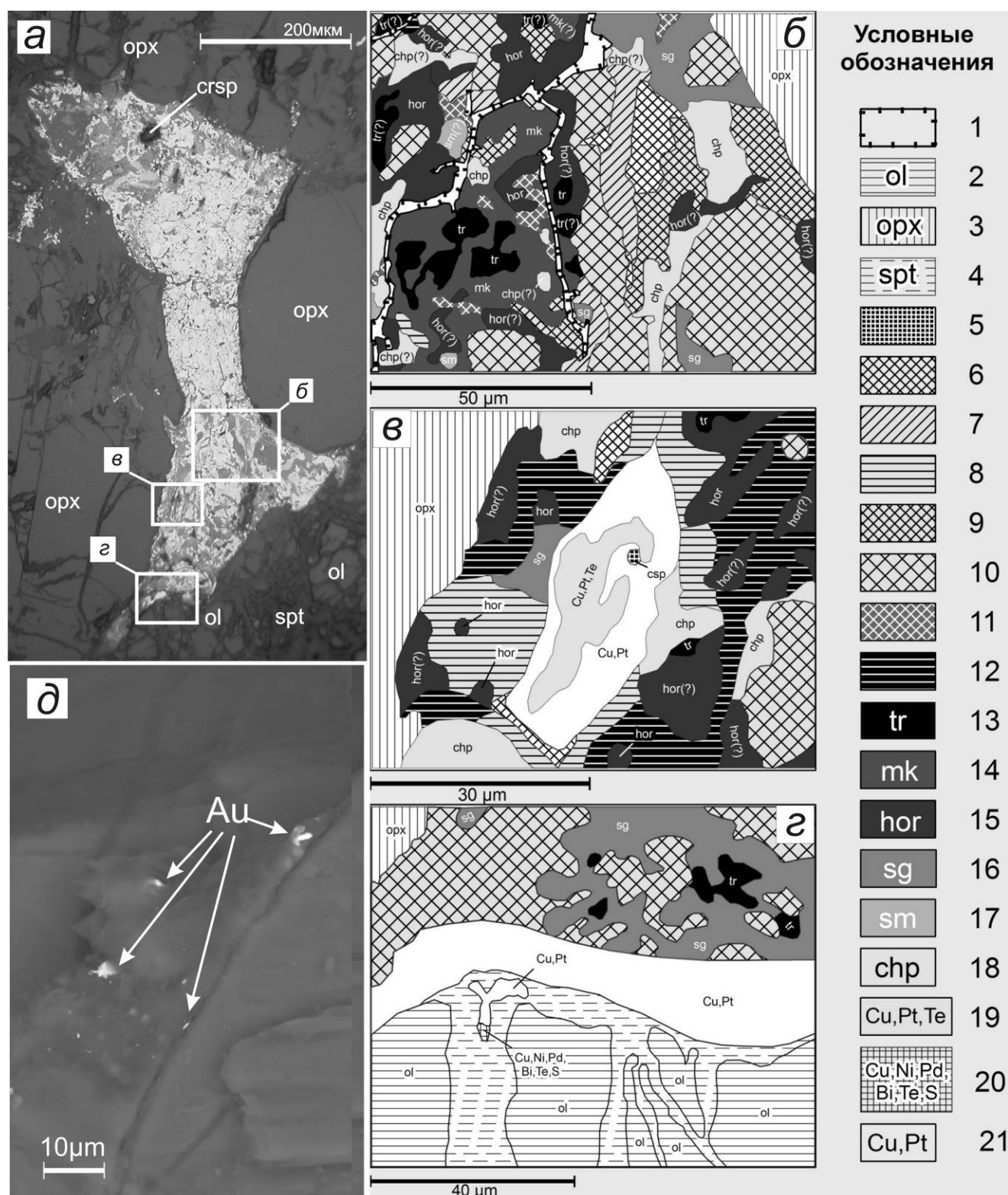


Рисунок 31. Сульфидный сросток сложного состава с платиноидами и схемы соотношений минералов внутри сростка [по 62, 64].

Морфология сростка сложного состава и его соотношения с породообразующими (CrSp – хромшпинелид, Spt – серпентин) минералами (а), схемы соотношений минералов в полисульфидных участках в сростке сложного состава (б, в, г), самородное золото (белое) в ортопироксене (д). Фото сделаны в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН: на рентгеноспектральном

микроанализаторе JXA-8100 (*a*); в отраженных электронах на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO 50XVP (*д*). Условные обозначения (*б, в, г*): 1 – трещина в породе, 2 – оливин, 3 – ортопироксен, 4 – серпентин, 5 – хромшпинелид, 6 – агрегат халькозина, ковеллина, оксидов железа и серпентина (?), 7 – агрегат халькопирита и магнетита, 8 – агрегат халькопирита, магнетита и серпентина (?), 9 – агрегат сульфидов меди, железа и серпентина (?), 10 – агрегат сульфидов меди, железа и неуставленных силикатов, 11 – агрегат сульфидов меди, никеля, железа и серпентина (?), 12 – агрегат троилита, магнетита и серпентина, 13 – троилит, 14 – никелистый макинавит, 15 – гороманиит, 16 – сугакиит, 17 – саманиит, 18 – халькопирит, 19 – агрегат твердого раствора платины в меди и теллурита, 20 – фаза состава Cu, Ni, Pd, Bi, Te, S, 21 – твердый раствор платины в меди.

На рисунке 31 *а, б, в, г* иллюстрируется сложный микросросток сульфидов железа, меди и никеля в ассоциации с тонкозернистыми сульфидно-оксидно-силикатными агрегатами. В зерне отмечены единичные резорбированные микрозерна хромшпинелидов с диффузионной реакционной каймой, платинистая медь и соединения висмута и теллура. Сульфидные медно-никелевые фазы представлены предположительно гороманиитом, сугакиитом и саманиитом, а также троилитом, халькопиритом и кубанитом. В составе сульфидно-оксидно-силикатных агрегатов установлены серпентин, магнетит, халькопирит, халькозин и макинавит, а также ковеллин, оксиды и гидроксиды железа. Платинистая медь представлена твердыми растворами системы Cu – Pt со средним содержанием платины 29 масс.% (табл. 20), иногда с незначительной примесью палладия (до 1,15 масс.%). Она образует кайму шириной порядка 10 мкм по краю зерна (рис. 31 *г*) и обособление размером 20 – 50 мкм (рис. 31 *в*), в центральной части которого находится агрегат теллурита и платинистой меди, а также выделение хромшпинелида размером менее 3 мкм (рис. 31 *в*). Вблизи края сложного сульфидного сростка установлена фаза с теллуrom, висмутом и палладием (табл. 20) размером менее 5 мкм, развивающаяся вдоль просечки серпентина (рис. 31 *г*).

В ортопироксенах оливиновых вебстеритов развито высокопробное золото (880–970‰, табл. 6) иногда с примесью меди и ртути, которое образует тончайшие (1–3 мкм) выделения (рис. 31 *д, е*).

Таблица 20. Представительные составы минералов благородных металлов оливинно-вых вебстеритов (масс.%)

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ зерна	21	21	21	21	21	21	21			
S	—	—	—	—	—	—	7,87	—	—	—
Fe	2,9	—	—	—	—	—	24,88	—	—	—
Ni	—	—	—	—	—	—	7,45	—	—	—
Cu	69,08	73,22	69,81	67,60	69,42	69,51	16,17	0,74	—	1,2
Te	—	—	—	—	—	—	9,05	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	27,84	—	—	—
Hg	—	—	—	—	—	—	—	4,42	—	—
Pt	25,7	26,78	30,19	31,25	30,14	29,82	—	—	—	—
Pd	—	—	—	1,15	0,45	0,67	6,74	—	—	—
Au	—	—	—	—	—	—	—	88,13	92,79	96,73
Ag	—	—	—	—	—	—	—	6,71	7,21	2,07
Сумма	97,68	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание. 1–6 – твердый раствор Pt–Cu; 7 – фаза сложного состава с Cu, Ni, Pd, Bi, Te и S; 8–10 – самородное золото. Исследования выполнены в ДВГИ ДВО РАН: 1–7 – Г.Б. Молчановой на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100; 8–10 – А.С. Шишовым на аналитическом сканирующем электронном микроскопе EVO 50XVP (Carl Zeiss) с системой INCA Energy 350 (Oxford Instruments). По [64, 62].

4.1.4. Самородная никелевая минерализация в серпентинитах

Самородная никелевая минерализация, связанная с серпентинитами исследована в зернах аваруита (рис. 32 *а, б, в*, табл. 22) из пролювиальных отложений в пределах гипербазитового массива г. Солдатской на полуострове Камчатский Мыс [66]. Аваруит содержит включения орселита, а также хизлевудита, пентландита и их сростания (рис. 32 *г, д, е, ж, к, л*, табл. 21, 23). Сульфиды замещаются оксидами и гидроксидами железа. В аваруите встречаются субграфические и волокнистые вроски серпентина (рис. 32 *е, и*). Уайаруит образует оторочки толщиной до 2 мкм вдоль контактов микровключений пентландита с аваруитом (рис. 32 *к*, табл. 22). Обнаружен агрегат аваруита и орселита, обрастающий магнетитом и

разбитый трещинами, по которым развивается серпентин (рис. 32 л). В аваруите установлено включение самородного осмия размером около 1 мкм (рис. 32 м).

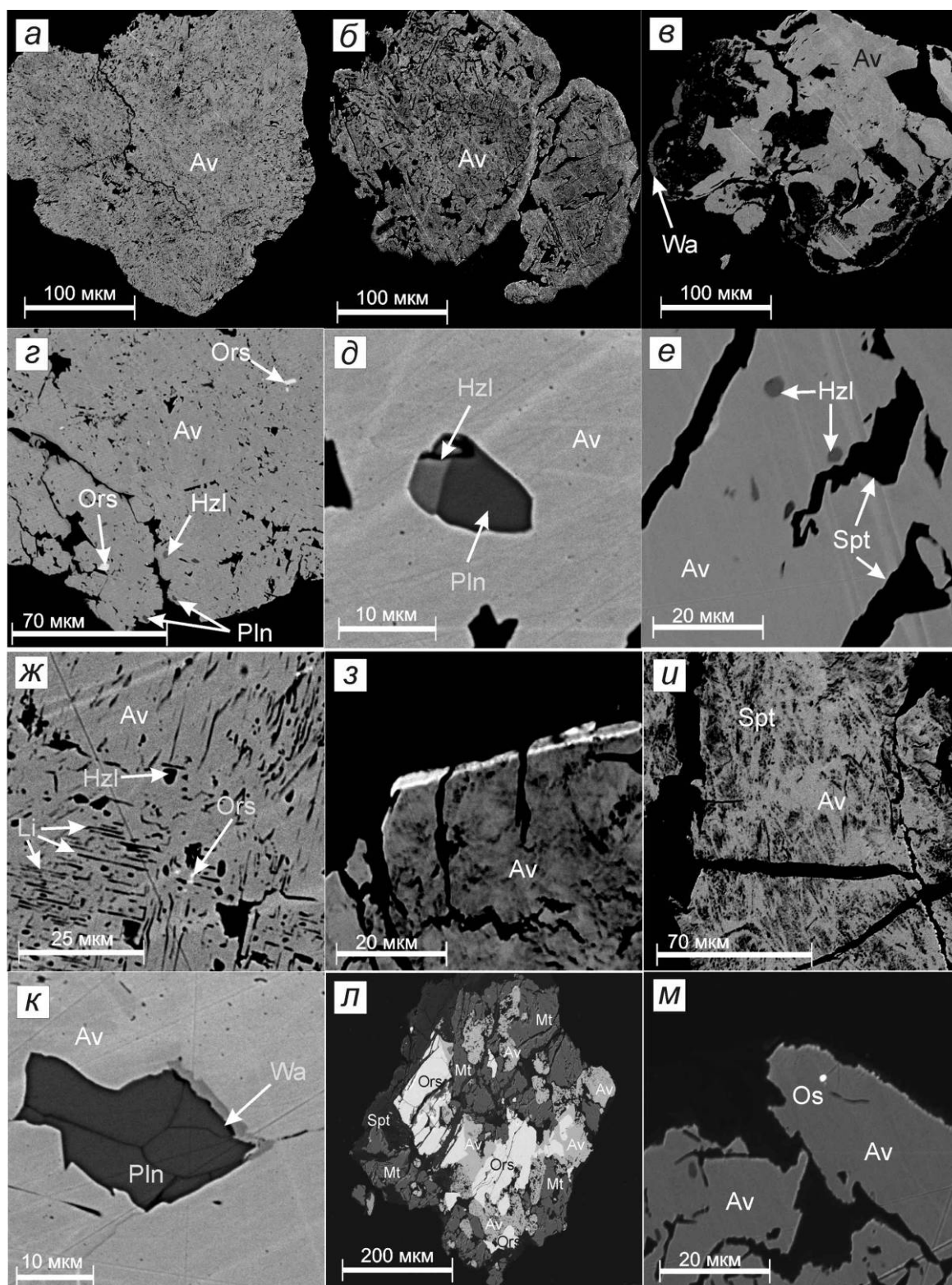


Рисунок 32. Соотношения минералов в аваруитах из серпентинитов (зерна из пролювиальных отложений в пределах гипербазитового массива г. Солдатской [66])

Морфология зерен аваруита (а, б, в): а, б – морфология зерен в целом; в – зерно аваруита с каймой уайаруита (Wa) по краю зерна. Включения пентландита, хизлевудита (Hzl), орселита

(Ors), серпентина (Spt) и гидроксидов железа (вероятно, лимонита – Li) в аваруите (*з*, *д*, *е*, *ж*): *з*, *д* – округлые включения сульфидов и орселита в аваруите; *е* – округлые включения хизлевудита и выделения серпентина в аваруите; *ж* – округлые включения хизлевудита и орселита в аваруите, гидроксиды железа замещают неизвестные сульфиды в структурах распада. кайма обогащенная никелем (светлое) по внешней части зерна аваруита (*з*); срастание аваруита (светлое) с волокнистым серпентином (*и*). Включение пентландита в аваруите, по краю включения – кайма уайаруита (*к*). Агрегат магнетита (Mt), аваруита, орселита и силикатов магния, вероятно, серпентина (*л*). Включение самородного осмия (Os, ярко-белое) в аваруите (*м*). Фото сделаны С.В. Москалевой в ИВиС ДВО РАН: на рентгеноспектральном микроанализаторе Camebax 244 (*а*, *б*, *в*, *з*, *и*, *л*, *м*) и в отраженных электронах на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 (*з*, *д*, *е*, *ж*, *к*).

Таблица 21. Представительные составы выделений пентландита в аваруите (масс.%)

№ пп	1	2	3	4	5	6	7
Fe	33,69	34,74	34,40	32,53	25,35	33,03	32,79
Ni	32,13	29,90	29,42	27,83	29,86	29,05	34,22
Co	6,35	2,88	4,63	7,09	12,68	4,42	—
S	28,97	33,37	33,82	32,59	32,66	34,04	33,56
Сумма	101,14	100,89	102,27	100,03	100,56	100,55	100,57
Fe/Ni	1,05	1,16	1,17	1,17	0,85	1,14	0,96

Примечание. Исследования выполнены в ИВиС ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max 80 mm², аналитик – С. В. Москалева [66].

Таблица 22. Представительные составы самородных фаз с никелем и кобальтом (масс.%)

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8
Fe	25,94	24,96	25,32	25,30	25,15	51,34	52,17	55,41
Ni	73,47	74,28	75,05	75,22	75,41	6,27	4,52	—
Co	—	—	1,27	1,01	—	42,98	44,47	44,02
Сумма	99,41	99,24	101,64	101,53	100,56	100,60	101,20	99,43

Примечание. 1–5 – аваруит, 6–8 – уайрауит. Исследования выполнены в ИВиС ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max 80 mm², аналитик – С. В. Москалева [66].

Таблица 23. Представительные составы орселита и хизлевудита в зернах аваруита (масс.%)

№ пп	1	2	3	4	5	6
Fe	0,51	0,83	—	4,18	—	—
Ni	66,39	62,2	72,94	72,02	72,66	75,1
Sb	—	0,51	—	—	—	—
As	34,82	34,79	—	—	—	—
S	—	—	26,10	25,22	27,18	26,62
Сумма	101,72	98,33	99,04	101,41	99,84	101,72

Примечание. 1, 2 – орселит; 4–6 – хизлевудит. Исследования выполнены в ИВиС ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max 80 mm2, аналитик – С. В. Москалева [66].

4.1.5. Последовательность минералообразования и генезис никелевой минерализации в гипербазитах п-ова Камчатский Мыс

Последовательность минералообразования, восстановленная по соотношениям минеральных фаз, представлена в таблице 24. Помимо «сквозных» пентландита, аваруита, серпентина и магнетита, для первой ассоциации (в вебстеритах) характерны минералы меди, а для второй – кобальта и мышьяка. В оливиновых вебстеритах пентландит является субстратом, по которому развивается аваруит. При этом серпентинизация в породе проявлена слабо, серпентин развивается по отдельным редким трещинам и не обнаруживает отчетливых соотношений с аваруитом. Напротив, для зерен аваруита из серпентинитов характерно срастание аваруита и серпентина.

Химические составы сосуществующих пентландитов и аваруитов в оливиновых вебстеритах отличаются более высоким содержанием железа, присутствием меди и отсутствием кобальта (табл. 18, 19, 21, 22). Отношение Fe / Ni в пентландитах оливиновых вебстеритов составляет в среднем 1,66; в пентландитах в зернах аваруита из серпентинита – 1,07. Различия в составах представлены на диаграммах, где они образуют изолированные поля (рис. 33 а, б).

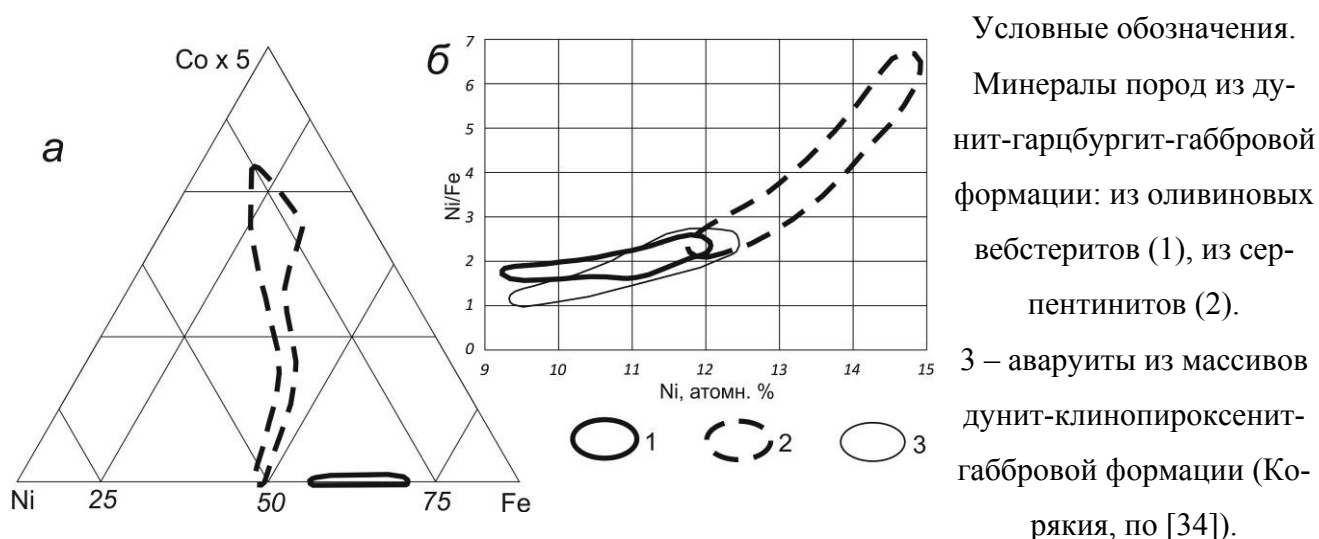


Рисунок 33. Соотношения содержаний железа, никеля и кобальта (а) в пентландитах (масс. %) и зависимость содержаний никеля от отношения Ni/Fe (б) в аваруитах (атомные проценты). Оконтурены облака фигуративных точек составов минералов.

Исследователи отмечают широкий диапазон условий, при которых возможно образование пентландита. Он встречается в высокотемпературных сульфидных медно-никелевых месторождениях и в кимберлитах. Низкотемпературный пентландит известен в серпентинизированных гипербазитах [11] и в подводных гидротермальных образованиях [58]. Формирование аваруитовой минерализации обычно связывают с серпентинизацией и преобразованиями никельсодержащих силикатов, прежде всего оливина, а также находящихся с ними в парагенезисе сульфидов при температурах порядка 300–500°C в восстановительных условиях [47, 78, 93, 90, 128]. С.А. Базылев [2] предполагает, что в перидотитах океана образование аваруита и ассоциирующих сульфидов (пентландита и хизлевудита) происходило на ранних стадиях перекристаллизации пород под действием просачивающейся океанической воды еще до начала их серпентинизации. Вместе с тем, формирование аваруита возможно и из исключительно сульфидных фаз. Это подтверждают данные экспериментальных исследований – при нагреве в восстановительной обстановке во всех газовых средах в диапазоне температур 800–950°C одним из продуктов восстановления пентландита является ферроникелевый сплав [17].

Таблица 24. Схема последовательности минералообразования в никелевых минеральных ассоциациях дунит-гарцбургит-габбровой формации

Минеральная ассоциация	Генезис				
	Магматический	Гидротермальный			Гипергенное изменение
		Высоко-среднетемпературный		Низкотемпературный	
Никелево-медная минерализация в оливковых вебстеритах	пентландит				
	медно-никелевые сульфиды				
	серпентин				
	аваруит				
	самородное золото				
			магнетит		
			троилит		
			халькопирит		
			кубанит		
			макинавит		
			самородная медь		
			платинистая медь		
			фазы с теллуром, висмутом и палладием		
				халькозин	
				ковеллин	
					теллуриды
					гидроксиды железа
Аваруитовая в серпентинитах	серпентин				
	аваруит				
	пентландит				
	хизлевудит				
	орселит				
	самородный осмий				
			магнетит		
			уайаруит		
					гидроксиды железа

Примечание. Выделены минералы, присутствующие в обеих минеральных ассоциациях. По [66], с изменениями.

Соотношения сульфидных выделений с силикатами в оливиновых вебстеритах предполагают их сингенетическое образование на магматической стадии (табл. 24). Ранние продукты кристаллизации обогащены никелем, поздние – медью, платиной, палладием и теллуром. В результате сульфидные зерна ранней генерации (тонкие цепочки сульфидов внутри ортопироксенов) сложены преимущественно пентландитом, а более поздние относительно крупные ксеноморфные выделения – пентландитом и медно-никелевыми сульфидами. Сросток сульфидов сложного состава сформировался при распаде поздней сульфидной фазы, обогащенной медью, платиной, палладием и теллуром. В ходе постмагматических процессов, вероятно, до серпентинизации, пентландит по трещинам замещался аваруитом, а в ортопироксенах формировались тончайшие выделения самородного золота. С серпентинизацией связаны развитие и перераспределение самородных фаз меди и платинистой меди, различных халькогенидов с теллуром, висмутом и палладием, а также магнетита и макинавита. Теллурит, ковеллин, халькозин, оксиды и гидроксиды железа представляют собой продукты гипергенного этапа.

В зернах из рыхлых отложений срастания аваруита с волокнистым серпентинитом подчеркивают связь рудной минерализации с процессами гидратации силикатов в восстановительной обстановке (табл. 24). При этом, аваруит, пентландит, хизлевудит и орселит, судя по их соотношениям, сингенетичны и являются более ранними фазами относительно магнетита, который замещает аваруит и арсениды в результате их окисления. Уайраут формировался позднее аваруита, но его соотношения с магнетитом не установлены. Выделение самородного осмия в аваруите, вероятно, сформировалось вместе с ним при перераспределении платиноидов и никеля в ходе серпентинизации. Обогащенная никелем кайма на зернах аваруита представляет собой результат гипергенных преобразований.

4.1.6. Вероятный аналог платиноидно-медно-никелевой минерализации в оливиновых вебстеритах (дунит-гарцбургит-габбровая формация)

Оливиновые вебстериты, как и вмещающие гарцбургиты, являются частью офиолитовой ассоциации. В составе реконструируемого офиолитового разреза на п-ове Камчатский Мыс выделены снизу вверх (рис. 34) реститогенные перидотиты (преимущественно гарцбургиты) со следами тектоно-метаморфических преобразований, ультрамафиты переходного расслоенного комплекса (дуниты, оливин-хромитовые породы и хромититы, вебстериты, верлиты, оливиновые клинопироксениты), габброиды и эффузивы. В образованиях переходного расслоенного комплекса в районе г. Осыпь найдена глыба хромитита, а также пироксениты с относительно повышенным содержанием платиноидов и убогой медной минерализацией, сходные с охарактеризованными выше оливиновыми вебстеритами [141]. Предполагается, что вариации составов породообразующих и акцессорных минералов реститогенных перидотитов отражают различную степень плавления мантийного субстрата, а ультрамафитов расслоенного комплекса – последующую эволюцию расплава, отделившегося от рестита [72, 74].

Структурно-текстурные особенности и минеральный состав оливиновых вебстеритов с сульфидно-самородной медно-никелевой минерализацией не противоречат их принадлежности к образованиям переходного расслоенного комплекса [62, 67]. Вместе с тем, они расположены среди реститогенных гарцбургитов. Можно предположить, что рассматриваемые породы близки к жильным разновидностям ультрамафитов основного состава, которые в данном случае не имеют характерных выраженных очертаний (рис. 34).

Предполагаемое положение оливиновых вебстеритов в офиолитовом разрезе и минеральный состав сульфидов позволяют сопоставить их сингенетичную медно-никелевую минерализацию с минерализацией месторождения Акуже в офиолитовом комплексе Замбалес на Филиппинах [131, 134]. Хромититы, платиноиды, сульфиды никеля и меди Акуже приурочены к дунитам и расслоенным ультрамафитовым кумулятивным породам в области перехода от гипербазитовой к габбро-

идной части разреза офиолитов. С 1971 до 1975 гг. на месторождении проводилась добыча концентрата никеля, содержащего платину и палладий [67]. Филиппинские исследователи предполагают, что генерация, сегрегация и накопление платиноидов, сульфидов и оксидов из расплава являются результатом высокой степени частичного плавления, смешения магм и фракционной кристаллизации [131, 134].

	Мощн. м	Характеристика комплексов пород офиолитовой ассоциации
	1000- 1500	нижне-верхнемеловые отложения смагинской свиты (базальты, андезибазальты, яшмы, известняки, мергели, кремнистые аргиллиты, железисто-кремнистые, железисто-глинистые породы, туффиты, туфы)
	500- 700	шаровые базальты и диабазы
	1300- 1500	мелко- и среднезернистые габбро с комплексом параллельных даек базальтов и долеритов, слоистые габбро с сегрегациями габбро-анортозитов и анортозитов, разнотекстурные габбро с линзами и шлирами базальтов
	3000- 3500	разнозернистые (до пегматитов) диаллаговые кумулятивные габбро, включающие линзы и силлы базальтов, а также ксенолиты, шлиры и линзы гипербазитов, сопряженных с меланократовыми габбро, оливиновыми габбро, троктолитами и клинопироксенитами
	~1000	ультрамафиты переходного расслоенного комплекса (дуниты, оливин-хромитовые породы и хромититы, вебстериты, верлиты, оливиновые клинопироксениты, пироксениты с медной минерализацией)
		реститогенные перидотиты (преимущественно гарцбургиты) со следами тектоно-метаморфических преобразований, включающие тела оливиновых вебстеритов с сульфидно-самородной медно-никелевой минерализацией

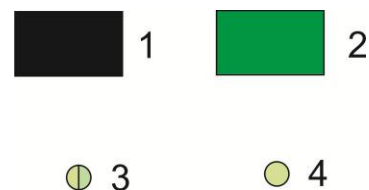


Рисунок 34. Сводная схема стратификации комплексов пород, входящих в офиолитовую ассоциацию п-ова Камчатский Мыс. Составлено по [7, 67, 74, 127, 131, 134] с изменениями и дополнениями.

Условные обозначения: 1 – хромититы, 2 – пироксениты и вебстериты, 3 – медно-никелевая минерализация, 4 – медная минерализация.

4.2. Медноколчеданные с никелем и кобальтом проявления и пункты минерализации в гипербазитах дунит-гарцбургит-габбровой формации

Медноколчеданные [65, 178] с никелем и кобальтом проявления и пункты минерализации в гипербазитах дунит-гарцбургит-габбровой формации на о. Карагинском и п-ове Озерном (рис. 1) локализованы в тектонических блоках серпентинизированных перидотитов дунит-гарцбургит-габбровой формации.

4.2.1. Геолого-структурное положение проявлений медноколчеданных с никелем и кобальтом руд на о-ве Карагинском

Тела серпентинизированных гипербазитов и серпентинитовых меланжей, с которыми связаны никельсодержащие медноколчеданные рудопроявления, приурочены к зоне Карагинско-Озерновского глубинного разлома (рис. 35 а), который разделяет структуры первого порядка – Восточно-Камчатский горст-антиклинорий и Ильпинско-Литкенский прогиб [99]. С точки зрения геодинамических построений предполагается, что складчатое основание о-ва Карагинского относится к аккреционно-коллизийным структурам Олюторско-Камчатской области [10].

По геофизическим данным проявления расположены в восточном крыле зоны разуплотнения земной коры северо-восточного простирания (рис. 35 б). Зона обусловлена глубинным Карагинско-Озерновским разломом и выявляется по аномальному снижению плотности в верхней коре до глубины 20 км. Охватывает восточную часть пролива Литке и центральную часть о-ва Карагинский. На поверхности восточный край зоны маркируется полосой интенсивных магнитных максимумов. Западный край ограничен полосовыми магнитными аномалиями, которые связаны с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации [65].

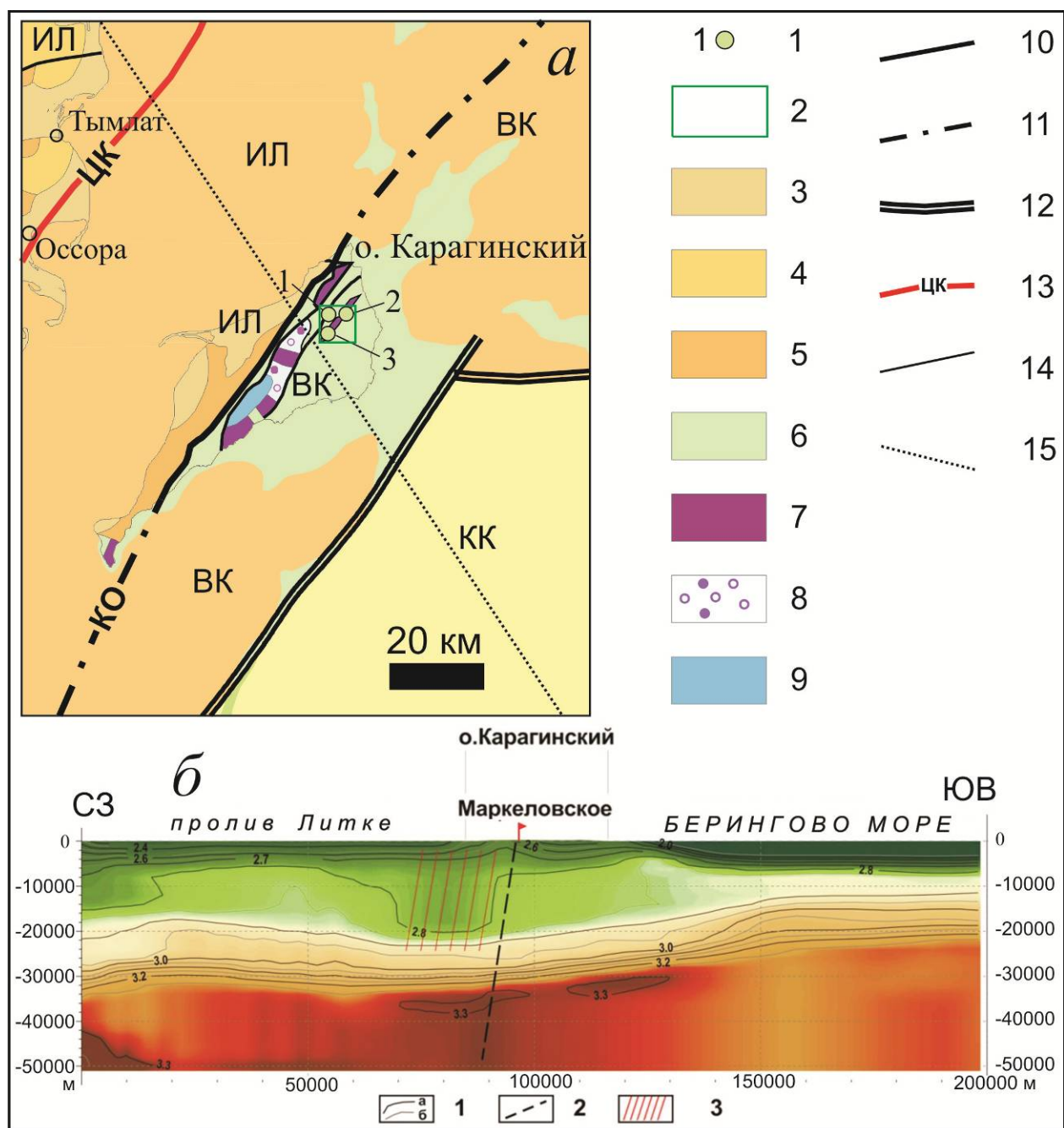


Рисунок 35. Тектоническая схема района о-ва Карагинский (а) и вертикальный разрез плотностной модели через рудопроявление Маркеловское (б). По [65, 99].

Условные обозначения к тектонической схеме района о-ва Карагинский (а): 1 – медные с никелем рудопроявления и их номера; 2 – прогнозируемое Маркеловское рудное поле; 3 – эоплейстоцен-голоценовые прибрежно-морские, морские отложения и доп-лейстоцен-голоценовые вулканогенные образования; 4 – среднемиоцен-плиоценовые морские отложения и миоценовые, среднемиоцен-плиоценовые вулканогенные образования; 5 – среднеэоцен-нижнемиоценовые осадочные отложения, среднеэоцен-олигоценые вулканогенные образования; 6 – раннемеловые метаморфизованные вулканогенные отложения, ранний мел-раннеэоценовые вулканогенно-терригенные, ранний мел-палеогеновые кремнисто-вулканогенные и кремнисто-

вулканогенно-терригенные образования; 7 – массивы серпентинизированных гипербазитов дунит-гарцбургитовой формации карагин-ского плутонического комплекса позднемелового возраста; 8 – полимиктовый серпентинитовый меланж; 9 – кристаллические сланцы; 10, 11 – Карагинско-Озерновский разлом: 10 – выходящий на земную поверхность, 11 – скрытый под вышележащими образованиями; 12 – разломы, ограничивающие Командорскую впадину; 13 – Центрально-Камчатский разлом (выделен по геофизическим данным); 14 – второстепенные разломы; 15 – линия разреза плотностной модели. Номера рудопроявлений на схеме а: 1 – Железное, 2 – Монолитное, 3 – Маркеловское. Буквенные обозначения на схеме а: КК – Командорская котловина, ВК – Восточно-Камчатский горст-антиклинорий, ИЛ – Ильпинско-Литкенский прогиб, ЦК – Центрально-Камчатский разлом, КО – Карагинско-Озерновский разлом.

Условные обозначения к разрезу плотностной модели (б): 1 – изоденсы в г/см^3 основные (а) и промежуточные (б); 2 – осевая линия разлома; 3 – зона разуплотнения в верхней коре.

4.2.2. Геологические и минералого-геохимические особенности рудопроявлений о-ва Карагинского

На острове Карагинском в пределах Маркеловского прогнозируемого рудного поля находятся три проявления сульфидных руд – Маркеловское, Монолитное и Железное. Содержащие никель и кобальт рудопроявления Монолитное и Маркеловское локализованы в серпентинитах. Рудопроявление Железное находится среди алевролитов и песчаников палеоцен-эоценового возраста на удалении от тел ультраосновного состава и никелевая минерализация здесь не отмечена. Это подтверждает, что сульфидная никелевая и кобальтовая минерализация формировалась в результате перераспределения никеля и кобальта гипербазитов в процессе гидротермально-метасоматических преобразований ультраосновных пород.

Никельсодержащие медные проявления расположены вдоль проницаемых зон тектонических нарушений, приурочены к наиболее серпентинизированным, тектонизированным частям массивов гипербазитов и тяготеют к их лежащим контактам. В пределах рудопроявлений развиты высокотемпературные антигоритовые разности серпентинитов, которые к флангам сменяются относительно низкотемпературными хризотилами и лизардитами [59, 99]. По данным геологосъемочных и поисковых работ [57, 59, 99, 147, 160, 162, 161, 169, 168] сульфидные руды представлены прожилково-вкрапленными и массивными разностями,

которые интенсивно выщелочены на поверхности. Главные минералы рудопроявлений – пирротин, халькопирит, кубанит и сфалерит. Второстепенные – виоларит, пирит и никелистый пирит, пентландит, макинавит, борнит, самородное золото. В зоне гипергенеза по рудным минералам развиваются ковеллин, гидроксиды железа, малахит, азурит. Наиболее распространен халькопирит, который образует вкрапленность, гнезда и прожилки в метасоматически измененных гипербазитах. Для него характерны решетчатые структуры распада с кубанитом ранней генерации и срастания со сфалеритом. По халькопириту и раннему кубаниту развивается кубанит второй генерации. Сфалерит содержит эмульсиевидную вкрапленность халькопирита. Пирротин отмечается в виде самостоятельных выделений неправильной формы, либо в срастании с халькопиритом или кобальтпентландитом. Пентландит образует пламеневидные вроски в пирротине, идиоморфные зерна среди пирротина и кубанита-халькопирита, мелкозернистые таблитчатые агрегаты в пирротине. Пирит встречается в форме мелких выделений неправильной формы среди скоплений магнетита и в массе породы. Сульфидные минералы пересекаются прожилками магнетита [59, 99].

Сульфидные руды проявлений Маркеловское и Монолитное являются эпигенетическими по отношению к вмещающим гипербазитам [16]. Исследования минеральных ассоциаций свидетельствуют о многостадийном характере рудоотложения. Минерализация гидротермально-метасоматического генезиса формировалась в процессе преобразования серпентинизированных гипербазитов под воздействием металлоносных, содержащих серу флюидов в проницаемых зонах разрывных нарушений и связанных с ними серпентинитовых меланжей [59, 92]. В результате никель, изоморфно входивший в состав породообразующих силикатов и оксидов гипербазитов, был переотложен в форме сульфидов.

Кроме медных, с массивами серпентинитов о-ва Карагинского связан ряд рудопроявлений ртути (Ирнтоваймские, гора Шапочка). Рудные тела представляют собой зоны лиственитизации с кварцевыми и карбонатными прожилками [108]. Несмотря на тесную пространственную ассоциацию, исследователи отмечают отсутствие существенного влияния процессов лиственитизации гипербазитов на

формирование никельсодержащих сульфидных медных руд [59]. Вместе с тем, характерной чертой массивных медных руд карагинских рудопроявлений является их тесная ассоциация с метасоматитами известково-силикатного состава – родингитами [59].

4.2.3. Вероятные аналоги проявлений медноколчеданных с никелем и кобальтом руд Восточной Камчатки

Никельсодержащие проявления Маркеловского рудного поля, сходное с ними рудопроявление Рыцарь (и, возможно, Гребень) на п-ове Озерном, могут быть сопоставлены с Ивановским и Ишкининским кобальт-медноколчеданными месторождениями Южного Урала, которые содержат также и никель. Объекты расположены в пределах Западно-Магнитогорской хромитоносной марганцево-золото-меднорудной металлогенической зоны и примыкают к Гайскому (Ишкининское) и Баймак-Бурибайскому (Ивановское) цинково-меднорудным районам. Рудопроявления связаны с телами серпентинитов в западной части Тагило-Магнитогорского мегасинклинория в пределах шовной зоны Главного Уральского разлома. Зону образуют тектонические блоки палеозойских формаций, разделенные участками полимиктового серпентинитового меланжа. Местами образования палеозоя перекрыты мезозойскими и кайнозойскими отложениями наложенной Орско-Таналыкской депрессии [49]. Петрофизические характеристики массивов гипербазитов в зависимости от степени серпентинизации и метаморфизма варьируют в значительных пределах [49].

Предполагается, что первичные руды южноуральских объектов были сформированы на островодужном этапе развития в обстановке аккреционной призмы в придонных условиях [56]. Генезис сульфидных руд гидротермально-метасоматический. Отмечено также кластогенное рудоотложение. Источником никеля и кобальта в рудах были серпентиниты, подвергшиеся гидротермально-метасоматической проработке [21]. На сульфиды наложены более поздние минеральные ассоциации – арсенидная и сульфоарсенидная с золотом и теллуридами. В отличие от медноколчеданных проявлений Восточной Камчатки, вблизи южно-

уральских объектов не отмечается ртутного оруденения, связанного с листовени-
тами. В то же время, их сульфидные руды часто залегают в тальк-карбонатных и
хлоритовых метасоматитах, развитых по серпентинитам. Запасы Ивановского ме-
сторождения по категории $C_1 + C_2$ составляют 24 млн. т руды, которая содержит
210 тыс. т меди, Ишкининского – 1,1 млн.т руды [1], что сопоставимо с оценками
прогнозных ресурсов рудопроявлений Восточной Камчатки. Оценка соотношений
запасов никеля к запасам меди Ивановского месторождения [1] близка к оценке
соотношений прогнозных ресурсов этих компонентов в пределах Маркеловского
прогнозируемого рудного поля и составляет $\sim 0,1-0,2$ (Карагинская прогнозируе-
мая ртутно-меднорудная зона, табл. 3).

Характерными общими особенностями медноколчеданных с никелем и ко-
бальтом объектов Южного Урала и Восточной Камчатки являются (табл. 25, по
[65]):

1. Тесная пространственная связь с телами серпентинитов по гипербази-
там дунит-гарцбургитовой формации в зонах глубинных разломов.
2. Линзообразная форма рудных тел, протяженность которых составляет
десятки-сотни метров, а мощность от первых до десятков метров.
3. Наличие массивных и прожилково-вкрапленных руд.
4. Главными полезными компонентами являются Cu или Cu и Zn, второ-
степенными – Zn, Ni, Co, а также благородные металлы.
5. Сходный состав рудных минералов и их морфологические особенности.
Главные минералы представлены пирротинном, халькопиритом, пиритом, а
также кубанитом, сфалеритом. Второстепенные – Ni-пирит, пентландит, мине-
ралы группы линнеита, макинавит, марказит, сфалерит, валлериит, никелин,
самородное золото. Для халькопирита характерны пластинчатые сростки с ку-
банитом, для сфалерита – включения халькопирита [55, 59, 99]. Пентландит
присутствует в виде пламенивидных вростков в пирротине. Встречаются также
идиоморфные зерна пентландита среди пирротина, кубанита-халькопирита.

Таблица 25. Сравнение особенностей медноколчеданных с никелем и кобальтом объектов Восточной Камчатки и Южного Урала (по [65]).

Регион			Восточная Камчатка			Южный Урал		Характерные общие особенности
Местор. и прояв.			Монолитное	Маркеловское	Рыцарь	Ивановское	Ишкининское	
Рудоконт. структ.			Зоны глубинных разломов, сопровождаемых серпентинитовым меланжем			Зона Главного Уральского разлома		В зонах глуб. разломов, сопровождаемых серп. меланжем
Геологич. условия			Линейно вытянутые зоны вдоль проникаемых 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 перелатая 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 сульф. руд (от 20 см до 5 м). Рудоносные зоны мощностью от 4 до 40 м, протяженность до 240 м.	Массивные руды образуют будины, линзы протяженностью десятки и первые сотни метров и мощностью до 20 м, отмеч. штокерки	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 рудн. тел, протяж. 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) - п×100 Au (г/т) - п	Cu (%) от 0,п до п Zn (%) от 0,п до п Ni (%) – 0,п Co (%) до 0,0п Ag (г/т) - п×100 Au (г/т) - п	Cu (%) от 0,п до п Ni (%) – 0,п Zn (%) – 0,п Ag (г/т) - п Au (г/т) от п до п×10 Te (г/т) - п×10, Se (г/т) - п×10	Cu (%) от 0,п до п Zn (%) – 0,п Co (%) – 0,0п Ni (%) – 0,п Ag (г/т) - п Au (г/т) от 0,п до п	Cu (%) от 0,п до п Co (%) – 0,0п до 0,п Ni (%) – 0,п Ag (г/т) - п Au (г/т) от 0,п до п	Главный полезный компонент – Cu, или Cu и Zn, второстепенные – Ni, Co, (Zn), благородные металлы
Ni/Cu			~0,п	~0,п	~0,п	0,13		
Co/Cu			~0,0п	~0,0п		0,04	0,03	
Состав руд	Эле м.	глав-	Cu, Zn, Au	Cu, Zn, Au	Au, Cu	Cu, Ni, Co	Cu, Co	Пирротин, халькопирит, кубанит пирит, Ni-пирит, пентландит, минералы группы линнеита, макинавит, марказит, сфалерит, валлериит, никелин, самор. Au
		второст.	Ni, Co, благ. мет.	Ni, Co, благ. мет.	Ni, благ. мет.	благ. мет.	Ni, Zn, благ. мет.	
	Минералы	главные	пирротин, халькопирит, кубанит, сфалерит, пирит	пирротин, халькопирит, кубанит и сфалерит, пирит	пирротин, халькопирит	пирротин, халькопирит, пирит	пирротин, пирит, халькопирит	
		второстеп. и редкие	кобальтпентландит, виоларит, Ni-пирит, макинавит, борнит, самор. Au,	кобальтпентландит, виоларит, Ni-пирит, макинавит, борнит, самор. Au,	пентландит, сфалерит, марказит, валлериит, никелин, франклинит, самор. Au, теллуриды, селениды	пентландит, макинавит, минералы группы линнеита, Ni-пирит, кубанит, сфалерит, марказит, валлериит, арсенопирит, глаукоdot, аллоклалит, кобальтин	пентландит, виоларит, макинавит, сфалерит, арсенопирит, герсдорфит, саффорит, никелин, кобальтин, леллингит, самор. Au, раклиджит	

Продолжение таблицы 25

Регион	Восточная Камчатка			Южный Урал		Характерные общие особенности
Местор. и прояв.	Монолитное	Маркеловское	Рыцарь	Ивановское	Ишкининское	
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 в терригенных породах	Массивные и прожилково-вкрап. разн. руд
Генезис	Гидротермально-метасоматический	Гидротермально-метасоматический	Гидротермально-метасоматический	Гидротермально-метасоматический	Гидротер.-метасоматич., кластогенный	Гидротермально-метасоматический
Околорудные изменения	В пределах рудопрояв. – 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 [25, 33, 56, 59, 99, 108, 160, 162, 161, 178].

6. Гидротермально-метасоматический генезис. При этом источниками никеля и кобальта в сульфидных рудах являются гипербазиты и серпентиниты, подвергшиеся гидротермально-метасоматической проработке.

7. Пространственная ассоциация с зонами карбонатного метасоматоза.

Проведенный сравнительный анализ и выявленное сходство подтверждают, что рудопроявления о-ва Карагинского, как и значительно лучше изученные кобальтсодержащие медные с никелем месторождения в зоне Главного Уральского разлома относятся к медноколчеданной формации [65]. Ряд исследователей относят южноуральские объекты к медно-цинково-колчеданному геолого-промышленному типу [16, 33], который включает некоторые залежи современных сульфидных руд на дне океанов [5, 36]. Как месторождения Южного Урала [5, 56], так и проявления Восточной Камчатки сходны с рудопроявлениями гидротермальных полей Логачев и Рейнбоу Срединного Атлантического хребта, которые пространственно и генетически связаны не с вулканитами, а с серпентинитами [5]. Исследования показали, что руды этих полей в наибольшей степени обогащены кобальтом и никелем [5, 46].

4.3. Никелевая минерализация в массивах дунит-клинопироксенит-габбровой формации

Ультраосновные породы дунит-клинопироксенит-габбровых массивов содержат меньшее количество никеля в сравнении с гипербазитами дунит-гарцбургит-габбровой формации (табл. 4). Формирование никелевой минерализации в них связано с процессами серпентинизации, в результате которой образуются аваруиты, которые тесно ассоциируют с платиноидами. Кроме аваруита, в ассоциации с ЭПГ платиноносного Гальмоэнанаского массива в Корякии (дунит-клинопироксенит-габбровая формация) отмечаются сульфиды и сульфоарсениды: кобальтпентландит, никелин, герсдорфит, а также никелевые серпентины непуитлизардитового ряда. В ряде случаев, повышенное содержание никеля отмечается в платиноидах [90]. Ассоциация платиноидов и аваруитов с никелевыми серпентинитами в массивах дунит-клинопироксенит-габбровой формации сходна с ассоциа-

цией серпентина, аваруита и платиноидов (самородного осмия) в массивах дунит-гарцбургит-габбровой формации. Обе ассоциации формируются в результате перераспределения никеля и платиноидов в процессе серпентинизации ультраосновных пород независимо от их формационной принадлежности. В то же время, содержание никеля в аваруитах массивов дунит-клинопироксенит-габбровой формации относительно низкое, почти соответствует содержаниям никеля в аваруитах, которые развиваются по сульфидам в оливиновых вебстеритах дунит-гарцбургит-габбровой формации (рис. 33). Возможно, как и аваруиты из оливиновых вебстеритов, они развивались в восстановительных условиях по никелевым сульфидам.

Образование никелевой минерализации в породах дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций связано с эпигенетическими процессами. Сингенетические процессы имели подчиненное значение.

При низком содержании серы в ультраосновных породах дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций никель преимущественно изоморфно входит в состав силикатов и оксидов. Магматогенная никелевая минерализация в оливиновых вебстеритах из массивов дунит-гарцбургит-габбровой формации распространена ограниченно [66, 62]. Поэтому возникновение самостоятельных минералов никеля в основном обусловлено гидротермально-метасоматическими преобразованиями ультраосновных пород. В результате широко распространенной серпентинизации никель входит в состав аваруита, который ассоциирует с платиноидами, а также с никельсодержащими серпентинами. Гидротермально-метасоматические процессы, связанные с привнесением кальция и серы [52, 84, 59, 89, 92] тяготеют к проницаемым зонам серпентинитовых меланжей. При этом, в результате сульфуризации в блоках гипербазитов происходит вынос никеля из силикатных и оксидных фаз и формирование его сульфидов.

Геологическое положение и характер сульфидной минерализации в оливиновых вебстеритах сходны с месторождением Акуже на Филиппинах, где хромиты, сульфиды никеля и платиноиды приурочены к дунитам и расслоенным

ультрамафитовым породам в области перехода от гипербазитовой к габброидной части разреза офиолитов [67, 134]. С учетом наличия на Камчатке крупных фрагментов офиолитовых разрезов, перспективы их никеленосности и платиносности требуют дальнейших исследований.

Аналогами медноколчеданных руд с кобальтовой и никелевой минерализацией в блоках гипербазитов из зон серпентинитового меланжа Восточной Камчатки являются отдельные рудопроявления, расположенные в пределах Западно-Магнитогорской хромитоносной марганцево-золото-меднорудной металлогенической зоны Южного Урала. Оно проявляется в геолого-структурной обстановке, приуроченности к массивам серпентинитов, параметрах рудных тел, характере рудных и пострудных изменений рудовмещающих образований, минеральном и химическом составе руд. Обогащение никелем и кобальтом связано с гидротермально-метасоматической проработкой вмещающих серпентинитов и переходом этих компонентов из силикатной в сульфидную форму. По масштабу оруденения объекты соответствуют мелким, возможно, средним месторождениям меди. Запасы сопутствующих никеля и кобальта могут соответствовать его мелким месторождениям [65, 156].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В породах дунит-клинопироксенит-габбровой и дунит-гарцбургит-габбровой формаций установлено снижение концентраций никеля и кобальта и возрастание содержаний меди 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 никель и кобальт рассеиваются в породообразующих минералах групп оливина и хромита-магнетита.

Прослеженные закономерности согласуются с данными по оценкам средних содержаний никеля 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 никеля в минералах ультрамафитов. Характерны низкие, в основном ниже предела обнаружения, концентрации никеля 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 гидротермальными процессами. Установлено перераспределение рудных компонентов в результате контактово-метасоматического воздействия при внедрении пострудных гранитоидов.

Повышенное содержание никеля в оливинах и шпинелидах из образований дунит-гарцбургит-габбровой и дунит-клинопироксенит-габбровой формаций при низком содержании серы в породах показывает, что большая часть никеля изоморфно входит в состав породообразующих минералов. По этой причине магматогенная сульфидная никелевая минерализация распространена ограниченно, что

подтверждается результатами маршрутных исследований массива г. Солдатской дунит-гарцбургит-габбровой формации [7, 141]. Поэтому возникновение сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов, самородных элементов, силикатов никеля в ультраосновных массивах этих формаций обусловлено преимущественно их эпигенетическими преобразованиями. В зависимости от особенностей гидротермальных, гидротермально-метасоматических процессов, образуются никельсодержащие серпентины [90], рассеянная аваруитовая минерализация или содержащие никель и кобальт 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 уральских и камчатских объектов 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 [65].

В настоящее время практическое значение как для промышленной добычи, так и в плане поисков имеют богатые кобальт-медно-никелевые руды КНП в 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 никель и кобальт 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, дунит-клинопироксенит-габбровой формаций и ассоциирующих с ними ультраосновных вулканитов с повышенным фоновым содержанием никеля (табл. 4) могут возникать никелевые сульфиды, арсениды, сульфоарсениды, никелевые серпентины и их рудные концентрации.

Никеленосность, а также платиноносность, связанные с магматогенной сульфидной минерализацией в массивах дунит-гарцбургит-габбровой формации Камчатки требуют дальнейших исследований. Необходимость изучения сингенетической минерализации этого типа обоснована сходством с месторождением Акуже на Филиппинах [67, 134], где имеется практический опыт промышленного получения сульфидного никелевого концентрата из ультрамафитов дунит-гарцбургит-габбровой формации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев, Д.А. Тальк-карбонатные метасоматиты и их роль в формировании кобальт-медноколчеданного оруденения в ультрамафитах Главного Уральского разлома / Д.А. Артемьев, В.В. Зайков // Литосфера. – 2009. – № 1. – С. 47-69.
2. Базылев, Б.А. Развитие аваруит-содержащей минеральной ассоциации в перидотитах из зоны разлома 15°20' (Атлантический океан) как одно из проявлений океанического метаморфизма / Б.А. Базылев // Росс. журнал наук о Земле. – 2000. – Т. 2. – № 3/4. – С. 279-293. – Режим доступа: <http://eos.wdcb.rssi.ru/rjes/v02/rje00045/rje00045.htm>.
3. Байков, А.И. Медно-никелевое сульфидное оруденение Камчатки / А.И. Байков, Ф.Ш. Кутыев // Никеленосные базит-гипербазитовые комплексы Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. – Апатиты, 1988. – С.59-61.
4. Богданов, Н.А. Западная Камчатка: геологическое развитие в мезозое / Н.А. Богданов и др.; под ред. Гладенкова Ю.Б., Паланджяна С.А. – М.: Научный Мир, 2005. – 224 с.
5. Богданов, Ю.А. Гидротермальный рудогенез океанского дна / Ю.А. Богданов, А.П. Лисицын, А.М. Сагалевиц, Е.Г. Гурвич – М.: Наука, 2006. – 528 с.
6. Боровцов, А. К. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Хангарская. Лист N-57-XX (Ганалы). Объяснительная записка / А.К. Боровцов, В.И. Сидоренко, В.И. Щенко и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – 147 с.
7. Бояринова, М.Е. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Восточно-Камчатская серия. Листы О-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). Объяснительная записка / М.Е. Бояринова, Н.А. Вешняков и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – 226 с.
8. Бурмаков, Ю.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Западно-Камчатская. Лист

- О-57-V, VI. Объяснительная записка / Ю.А. Бурмаков, Р.М. Новаков, И.В. Трунин – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – 187 с.
9. Велинский, В.В. Альпинотипные гипербазиты переходных зон океан-континент / В.В. Велинский – М.: Наука, 1979. – 264 с.
 10. Вержбицкий, В.Е. Новые данные о структуре аккреционной призмы острова Карагинского (Берингово море) / В.Е. Вержбицкий, М.Н. Шапиро, А.В. Соловьев, А.Е. Голдырев // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 404. – № 6. – С. 793-797.
 11. Волынец, О.Н. О новом для Камчатки типе рудопроявлений / О.Н. Волынец, Н.Л. Шилин // Доклады АН СССР. – 1965. – Т. 161. – № 6. – С. 1412-1415.
 12. Высоцкий, С.В. Минералогические критерии магматического генезиса ультрабазитов офиолитовых ассоциаций (на примере Восточной Камчатки) / С.В. Высоцкий // Новые данные по петрологии магматических и метаморфических пород Камчатки – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1989. – С. 134-156.
 13. Геология СССР. Том XXXI. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Ч. 1. Геологическое описание / Отв. ред. А.В. Сидоренко – М.: Недра, 1964. – 733 с.
 14. Додин, Д.А. Платинометальные месторождения России / Д.А. Додин, М.М. Чернышов, Б.А. Яцкевич – С.Пб.: Наука, 2000. – С. 386-393.
 15. Евстигнеева, Т.Л. Некоторые вопросы минералогии и генезиса сульфидных никелевых руд Центральной Камчатки / Т.Л. Евстигнеева, С.Д. Минеев, В.М. Чубаров и др. // Никеленосные базит-гипербазитовые комплексы Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. – Апатиты, 1988. – С. 63-69.
 16. Еремин, Н.И. Благородные металлы в вулканогенных колчеданных месторождениях / Н.И. Еремин, Н.Е. Сергеева, А.Л. Дергачев, Н.В. Позднякова // Вестник Моск. Ун-та. – Сер. 4. – Геология. – 2000. – № 2. – С. 52–59.
 17. Ерцева, Л.Н. Восстановительная термообработка пентландита из пирротинсодержащего медно-никелевого сульфидного сырья / Л.Н. Ерцева, В.Т. Дьяченко, С.В. Сухарев // Цветные металлы. – 1997. – № 6. – С.24-26.

18. Ескин, А.Е. Новые данные о составе и строении плутонических комплексов хребта Тумрок (Восточная Камчатка) / А.Е. Ескин, С.Г. Сколотнев, Н.В. Цуканов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2007. – № 1. – Вып. № 9. – С.61-72.
19. Жегалова, Г.В. Меланж в массивах габбро-норит-кортландитового комплекса Срединного хребта Центральной Камчатки / Г.В. Жегалова // Геотектоника. – 1981. – № 3. – С. 105-112.
20. Жегалова, Г.В. Структурный контроль медного и медно-никелевого оруденения южной части Центральной Камчатки / Г.В. Жегалова // Геология и геофизика. – 1981. – № 7. – С. 43-49.
21. Зайков, В.В. Кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах аккреционной призмы Западно-магнитогорской палеоостровной дуги / В.В. Зайков, И.Ю. Мелекесцева // Литосфера. – 2005. – № 3. – С. 73-98.
22. Зимин, С.С. Формация никеленосных роговообманковых базитов Дальнего Востока / С.С. Зимин – Новосибирск: Наука, 1973. – 90 с.
23. Игнатьев, Е.К. Геология и медно-никелевое оруденение Срединного массива Камчатки / Е.К. Игнатьев, Е.А. Баженов, А.Н. Козлов, В.М. Округин и др. // Никеленосные базит-гипербазитовые комплексы Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. – Апатиты, 1988. – С. 61-63.
24. Карпузов, А.А. Геология и петролого-геохимические особенности мафит-ультрамафитового массива Юрчик (Центральная Камчатка) / А.А. Карпузов // Известия вузов. Геология и разведка. – 2008. – № 1. – С.72-74.
25. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1 : 500 000. Главные редакторы: А.Ф. Литвинов, М.Г. Патока (Камчатгеолком), Б.А. Марковский (ВСЕГЕИ). – СПб: ВСЕГЕИ, 1999.
26. Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. – М.: Недра, 1997. – 248 с.
27. Коваленко, Д.В. Геодинамические условия формирования и магматические источники позднемеловых – раннепалеоценовых магматических комплексов

- северной части Камчатки / Д.В. Коваленко, А.В. Колосков, Н.В. Цуканов, П.И. Федоров // Геохимия. – 2009. – № 4. – С. 348-377.
28. Колосков, В.А. Позднемеловые-палеоценовые магматические комплексы Центральной Камчатки: геологическое положение, особенности вещественного состава / В.А. Колосков, Г.Б. Флеров, Д.В. Коваленко // Тихоокеанская геология. – 2009. – Т. 28. – № 4. – С. 16-34.
29. Конников, Э.Г. Геохимическая специфика ультраосновных лав Срединного хребта Камчатки / Э.Г. Конников, В.А. Полетаев, О.Ю. Закревская, Е.Г. Сидоров, Э.К. Ибрагимова // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 435. – № 4. – С. 522-526.
30. Конников, Э.Г. Гранатсодержащие базиты Кувалорогского массива Камчатки / Э.Г. Конников, А.Н. Некрасов, Д.А. Орсоев, Янь Хонцуань, Чи Слаогуо // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 5. – С. 595-612.
31. Конников, Э.Г. Новые данные о структуре и геохимии Дукусского габбро-норит-кортландитового массива Камчатки / Э.Г. Конников, В.М. Чубаров, В.А. Полетаев, П.Г. Бухтияров // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29. № 6. – С. 13-25.
32. Конников, Э.Г. Формационная принадлежность и возраст Юрчикского массива (Камчатка) / Э.Г. Конников, А.Н. Некрасов, Н.В. Родионов, А.В. Травин, В.А. Полетаев, Е.Г. Сидоров, В.М. Чубаров // Геохимия. – 2009. – № 11. – С. 1200-1211.
33. Контарь, Е.С. Металлогения меди, цинка и свинца на Урале / Е.С. Контарь, Л.Е. Либарова – Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. – 233 с.
34. Корякско-Камчатский регион – новая платиноносная провинция России / Коллектив авторов – СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2002. – 383 с.
35. Костицын, Ю.А. U-Pb и Sm-Nd данные о возрасте фундамента Срединного хребта Камчатки / Ю.А. Костицын, М.О. Аносова, Н.М. Ревяко, В.А. Степанов // Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов. Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии. – М.: ИГЕМ РАН, 2012. – С. 175-177.

- 36.Кривцов, А.И. Модели месторождений благородных и цветных металлов. Месторождения колчеданного семейства / А.И. Кривцов, О.В. Минина, А.Г. Волчков, Е.Е. Абрамова, Д.В. Гричук, Е.А. Ельянова – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 282 с.
- 37.Кузьмин, В.К. Первые Sm-Nd изотопные определения возраста метаморфических пород Срединно-Камчатского массива. / В.К. Кузьмин, Б.В. Беляцкий // Геология и полезные ископаемые Камчатской области и Корякского автономного округа. Материалы региональной научно-практической конференции 31 марта – 1 апреля. – Петропавловск-Камчатский: из-во КАМ-ШАТ, 1999. – С.41-42.
- 38.Кунгурова В.Е. Минералогический и вещественный состав сульфидной руды, использованной в экспериментах по бактериально-химическому выщелачиванию (Месторождение Шануч, Камчатка) / В.Е. Кунгурова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) № 11. – 2016. – Специальный выпуск № 31 «Камчатка-3». – С. 319-327.
- 39.Кунгурова В.Е. Структурно-текстурные и минералогические особенности зоны окисления рудного тела № 1 месторождения Шануч (Камчатка) / В.Е. Кунгурова, Ю.П. Трухин, А.А. Алискеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 531. – С. 56-69.
- 40.Кунгурова, В.Е. Медно-никелевое рудопроявление Аннабергитовая Щель Камчатской никеленосной провинции / В.Е. Кунгурова, В.А. Степанов, Ю.П. Трухин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – Отдельный выпуск 2. «Камчатка» (специальный выпуск). – С. 324-333.
- 41.Кунгурова, В.Е. Состав руд сульфидного медно-никелевого проявления Восточно-Геофизическое (Камчатка) / В.Е. Кунгурова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – Отдельный выпуск 2. «Камчатка» (специальный выпуск). – С. 343-352.

42. Кунгурова, В.Е. Состав руд сульфидного медно-никелевого проявления Ан-набергитовая Щель (Камчатка) / В.Е. Кунгурова, В.А. Степанов, Ю.П. Трухин, Р.М. Новаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 531. – С. 42-55.
43. Ланда, Э.А. Об особенностях состава оливинов из дунитов зональных массивов Корякии и Камчатки / Э.А. Ланда, Б.А. Марковский, Е.Г. Сидоров, Е.В. Толмачева // Записки ВМО. – 2001. – № 1. – С. 60-66.
44. Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Петрографический словарь / Ф.Ю. Левинсон-Лессинг, Э.А. Струве – М, 1963 – 447 с.
45. Лезин, В.И. Камчатский никель (этапы становления медно-никелевой отрасли Камчатки) / В.И. Лезин, Г.В. Кувакин // Журнал «Горный вестник Камчатки». – 2010 – № 4 – С. 64.
46. Леин, А.Ю. Минералогия и геохимия сульфидных руд на подводных гидротермальных полях, связанных с серпентинитовыми протрузиями / А.Ю. Леин, Н.В. Ульянова, А.А. Ульянов, Г.А. Черкашев, Т.В. Степанова // Российский журнал наук о Земле. – 2001. – Том 3. – № 5. – 2001. Режим доступа: <http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/rus/v03/rje01068/rje01068.htm#chap06>.
47. Леснов, Ф.П. Аваруитовая рудная минерализация в Чайском сульфидном медно-никелевом месторождении (Северное Прибайкалье) / Ф.П. Леснов // Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья: Матер. Всерос. научно-практической конференции. – Улан-Удэ, 2010. – С. 120-122.
48. Лучицкая, М.В. Два этапа формирования гранитоидов Срединного хребта Камчатки: их тектоническая и геодинамическая позиция / М.В. Лучицкая, А.В. Соловьев, Дж.К. Хоуриган // Геотектоника. – 2008. – № 4. – С. 49-69.
49. Лядский, П.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Уральская серия. Лист М-40 (Оренбург) с клапаном М-41. Объяснительная записка / П.В. Лядский, Л.Н. Кваснюк, А.В. Жданов, О.В. Чечулина и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. – 392 с.

50. Марковский Б. А., Парагенезис дунит-клинопироксенитовых и пироксенит-габброидных комплексов / Б.А. Марковский, Е.Г. Сидоров // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки. Тез. докл. науч. сессии Камчатского отделения ВМО. – Петропавловск-Камчатский, 2000. – С. 36-38.
51. Марковский, Б.А. Амфиболовые пикриты – новая разновидность ультрамафических вулканитов Камчатки / Б.А. Марковский // Доклады Академии наук СССР. – 1987. – Т. 292. – № 1. – С.184-187.
52. Марковский, Б.А. Геология и петрология ультраосновного вулканизма / Б.А. Марковский, В.К. Ротман – Л.:Недра, 1981. – 247 с.
53. Марковский, Б.А. Окраинно-океанический тип рифтогенного ультрамафит-мафитового магматизма Азиатско-Тихоокеанской транзитали / Б.А. Марковский // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. X Чтения А.Н. Заварицкого 21-22 сентября 2004 г.: Материалы международной научной конференции. – Екатеринбург, 2004. – С. 44-48.
54. Марковский, Б.А. Пикриты. В кн. Магматические горные породы, т. 5 / О.А. Богатиков, Ю.Р. Васильев, Ю.Н. Дмитриев, Д.А. Ионов, В.А. Кононова, Е.Е. Лазько, Б.А. Марковский, И.Л. Махоткин, И.С. Пухтель, А.К. Симон, В.Ф. Смолькин, Н.Г. Удовкина, А.А. Цветков, Е.В. Шарков; гл. ред. О.А. Богатиков – М.:Недра, 1988. – 505 с.
55. Мелекесцева, И.Ю. Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах зоны Главного Уральского разлома: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.11 / Мелекесцева Ирина Юрьевна – Екатеринбург, 2005. – 16 с.
56. Мелекесцева, И.Ю. Руды Ишкининского кобальт-медноколчеданного месторождения (Южный Урал) / И.Ю. Мелекесцева, В.В. Зайков – Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. – 122 с.

57. Мельникова, С.А. Государственная геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Серия Корякская. Листы О-58-VIII, IX, XIV. Объяснительная записка / С.А. Мельникова – М., 1987. – 111 с.
58. Мозгова, Н.Н. Пентландит из черных курильщиков гидротермальных полей Рейнбоу и Логачев (изоморфизм и нестехиометрия) / Н.Н. Мозгова, Ф. Фардуст, Ю.С. Бородаев, Н.В. Трубкин // Записки Российского минералогического общества. – 2005. – № 1. – С. 69-81.
59. Назимова, Ю.В. Геохимия, минералогия и генезис медно-никелевого оруденения в альпинотипных гипербазитах острова Карагинского (Восточная Камчатка): автореф. дис. ... канд. геол. -минер. наук: 04.00.02 / Назимова Юлия Владимировна – СПб., 1992. – 16 с.
60. Новаков, Р.М. Геологическое строение, вещественный состав и возраст массивов габбродиорит-монцонитового комплекса в верховьях р. Правая Лесная (Камчатка) / Р.М. Новаков, Ю.А. Бурмаков, М.Д. Сидоров // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск, 2000. – С. 67.
61. 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 высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2014. – № 3. – С.44-51.
62. 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.
63. 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, Т.М. Философова // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2017. – № 1. – Вып. № 33. – С. 34-45.
64. Новаков, Р.М. Находка золото-платиноидно-медно-никелевой минерализации в оливиновых вебстеритах п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка)

- / Р.М. Новаков, В.В. Иванов, Ю.П. Трухин // Никеленосные провинции Дальнего Востока: Матер. конференции с международным участием. – Петропавловск-Камчатский, 2012. – С. 47-52.
65. Новаков, Р.М. Никеленосность медно-колчеданных проявлений в серпентинитах Восточной Камчатки / Р.М. Новаков, М.Д. Сидоров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 531. – С. 13-26.
66. 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. – № 2. – Вып. № 24. – С. 137-146.
67. Новаков, Р.М. Платиноидно-медно-никелевая минерализация в офиолитах полуострова Камчатский Мыс (Камчатка) / Р.М. Новаков, С.В. Паламарь, В.В. Таскин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 531. – С. 88-94.
68. 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.
69. Новаков Р.М. Роговообманковые и флогопитовые перидотиты мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки / Р.М. Новаков, В.М. Чубаров, В.Е. Кунгурова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 532. – С. 5–17.
70. Новаков Р.М. Содержания никеля в пороодообразующих и рудных минералах мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки / Р.М. Новаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 532. – С. 18–29.
71. Округин, В.М. Геолого-минералогические особенности золотоносной медно-пирротиновой минерализации полуострова Озерного (Восточная Камчатка) /

- В.М. Округин, Н.Е. Сергеева, Ю.М. Стефанов // Тезисы докладов конференции молодых ученых ДВНЦ. – Владивосток, 1976.
- 72.Осипенко, А.Б. Геохимическая гетерогенность мантийных перидотитов в офиолитах Восточной Камчатки: причины и геодинамические следствия / А.Б. Осипенко, К.А. Крылов // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки. – М.: Научный мир, 2001. – 290 с.
- 73.Осипенко, А.Б. Хромититы гипербазитовых массивов п-ова Валижген, Корякия / А.Б. Осипенко, Е.Г. Сидоров, А.И. Костоянов, Н.Д. Толстых // Геология рудных месторождений. – 2002. – Т. 44. – № 1. – С. 77-92.
- 74.Осипенко, А.Б. Хромитовая минерализация в ультрамафитах п-ова Камчатский Мыс (Камчатка) / А.Б. Осипенко, Р.М. Новаков // Записки Всероссийского минералогического общества. – 2002. – № 2. – С. 84-98.
- 75.Петрографический кодекс России: Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / Под ред. О.А. Богатикова, О.В. Петрова, А.Ф. Морозова; отв. ред. Л.В. Шарпенюк. – 3-е изд., испр. и доп.. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.
- 76.Полетаев, В.А. Камчатская платиноидно-никеленосная зона – геология и рудоносность: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.11 / Полетаев Владимир Алексеевич – М., 2004. – 22 с.
- 77.Полетаев, В.А. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и рудопроявления перидотит-пироксенит-норитовой формации Центральной Камчатки / В.А. Полетаев // Платина России. – Т.III. – Кн. 2. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – С. 191-199.
- 78.Рамдор, П. О широко распространенном парагенезисе рудных минералов, возникающих при серпентинизации / П. Рамдор // Геология рудных месторождений. – 1967. – № 2. – С. 32-43.
- 79.Ротман, В.К. Общие черты магматизма внутренней части северо-западного сектора Тихоокеанского подвижного пояса/ В.К. Ротман // Советская геология. – 1971. – № 10. – С. 42-53.

80. Савельев, Д.П. Магматические сульфиды в пикритах п-ова Камчатский Мыс / Д.П. Савельев, Т.М. Философова // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». – Петропавловск-Камчатский ИВиС ДВО РАН, 2014 – С. 120-126.
81. Савельев, Д.П. Меловые внутриплитные вулканы Восточной Камчатки: геологическая позиция и влияние на островодужный вулканизм / Д.П. Савельев // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2004. – № 2. – С. 16-19.
82. Савельев Д.П. Минерагенический потенциал офиолитов п-ова Камчатский Мыс / Д.П. Савельев, Р.М. Новаков, О.Л. Савельева // Научная конференция, посвящённая дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы» ИВиС ДВО РАН. – Петропавловск-Камчатский, 2016. – С. 425–432.
83. Савельев, Д.П. Плагиоклазовые пикриты п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) / Д.П. Савельев // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 4. – С. 1-11.
84. Селиверстов, В.А. Петрология родингитов Камчатки / В.А. Селиверстов, А.Б. Осипенко – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 156 с. Режим доступа: <http://geo.web.ru/db/msg.html?uri=lit.htm&mid=1164194>.
85. Селянгин, О.Б. К сравнительной петрологии интрузивов северной и южной зон Камчатской никеленоносной провинции. Часть 1 / О.Б. Селянгин // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2014. – № 1. – Вып. № 23. – С. 168-185.
86. Селянгин, О.Б. К сравнительной петрологии интрузивов северной и южной зон Камчатской никеленоносной провинции. Часть 2 / О.Б. Селянгин // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2014. – № 2. – Вып. № 24 – С. 95-115.
87. Селянгин, О.Б. Кортландит-амфиболовый пироксенит-горнблендитовая серия расслоенного никеленоносного интрузива Восточно-Геофизический, Шанучское рудное поле, Камчатка / О.Б. Селянгин // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2006. – № 2. – Вып. № 8. – С. 9-28.

88. Селянгин, О.Б. Новые данные о строении и эволюции никеленосного интрузива Кувалорог, южная Камчатка / О.Б. Селянгин // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2007. – № 1. – Вып. № 9. – С. 111-126.
89. Семенов В.Л. Демантоидная минерализация Корякско-Камчатского региона / В.Л. Семенов, Л.П. Аникин, Е.Г. Сидоров, В.А. Рашидов // Вестник КРАУНЦ. – 2003. – № 2. – С. 70-79.
90. Сидоров, Е.Г. Гальмознанский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность / Е.Г. Сидоров, А.П. Козлов, Н.Д. Толстых – М.: Научный мир, 2012. – 286 с.
91. Сидоров, Е.Г. Находка пикритов на о. Карагинском (Берингово Море) / Е.Г. Сидоров // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 297. – № 3. – С. 681-683.
92. Сидоров, Е.Г. Платиноносность базит-гипербазитовых комплексов Корякско-Камчатского региона: автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук: 25.00.11 / Сидоров Евгений Геннадьевич – Петропавловск-Камчатский, 2009. – 46 с.
93. Сидоров, Е.Г. Самородные никелевые металлы в гипербазитах / Е.Г. Сидоров // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 295. – № 6. – С. 1456-1459.
94. Сидоров, М.Д. Геофизические поля и никеленосность Камчатского срединного массива / М.Д. Сидоров, В.А. Степанов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2006. – № 2. – Вып. № 8. – С. 140-150.
95. Сидоров, М.Д. Плотностное моделирование магматических структур в Колпаковском перспективном никеленосном районе (Срединный массив, Камчатка) / М.Д. Сидоров // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34. – № 3. – С. 42-51.
96. Сидоров, М.Д. Плотностные неоднородности в верхней коре Шанучского рудного района и проблема выявления невоскрытых никеленосных интрузий (Срединный массив, Камчатка) / М.Д. Сидоров, В.В. Таскин, Н.А. Вешняков // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 65. – С. 104-115.
97. Сидоров, М.Д. Прогнозирование по гравимагнитным данным никеленосных интрузий в Камчатском срединном массиве: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.10 / Сидоров Михаил Дмитриевич – М., 2010. – 26 с.

98. Симакин, А.Г. Эоценовая аккреция на Камчатке и всплеск мантийного плюмового магматизма / А.Г. Симакин, Э.Г. Конников, П.Г. Бухтияров, О.Ю. Шапошникова // Геохимия. – 2015. – № 2. – С. 1-18.
99. Сляднев, Б.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Курильская. Лист О–58 – Усть-Камчатск. Объяснительная записка / Б.И. Сляднев, А.К. Боровцов, и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. – 256 с.
100. Сляднев, Б.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000 000 (третье поколение). Серия Корякско-Камчатская. Лист N–57 – Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка / Б.И. Сляднев, В.Н. Шаповаленко и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – 187 с.
101. Смышляев, А.А. Наследники первопроходцев. Камчатгеология: маршрут в 60 лет (1951 – 2011) / А.А. Смышляев – Петропавловск-Камчатский, 2011. – 113 с.
102. Соколов, С.Д. Кузольский офиолитовый террейн / С.Д. Соколов, А.И. Ханчук – ДВГИ ДВО АН СССР, 1990. – 106 с.
103. Старков Г.Н. Петрография и рудоносность кортландитовых комплексов Южной Камчатки: автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. – Владивосток. – 1971. – 22 с.
104. Степанов В.А. Медно-никелевые рудные объекты Становой и Камчатской провинций / В.А. Степанов, А.В. Мельников, М.Д. Сидоров, В.И. Гвоздев // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2010. – № 5. – С. 33-41.
105. Степанов, В.А. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) / В.А. Степанов, В.И. Гвоздев, Ю.П. Трухин, В.Е. Кунгурова, Г.Б. Молчанова // Записки Российского минералогического общества. – 2010. – Ч. СXXXIX. – № 2. – С. 43-58.

106. Степанов, В.А. Находка ирарсита в медно-никелевых рудах месторождения Шануч (Камчатка) / В.А. Степанов, В.Е. Кунгурова, В.И. Гвоздев // Новые данные о минералах. – 2010. – Вып. 45. – С. 23-27.
107. Степанов, В.А. О возрасте Шанучского медно-никелевого месторождения Камчатки / В.А. Степанов, Ю.П. Трухин // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 417. – № 1. – С. 84-86.
108. Степанов, В.А. Перспективы выявления золотортутных месторождений на Камчатке / В.А. Степанов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – № 1. – 2008. – С. 29-34.
109. Тарарин, И.А. Геологическая позиция, минералогия и платиноидная минерализация медно-никелевых рудопроявлений Квинумского рудного поля Срединного хребта Камчатки / И.А. Тарарин, В.М. Чубаров, Е.К. Игнатьев, С.В. Москалева // Тихоокеанская геология. – 2007. – Т. 26. – № 1. – С. 94-110.
110. Тарарин, И.А. Геология и петрология метавулканитов квахонской свиты Срединно-Камчатского кристаллического массива / И.А. Тарарин, З.Г. Бадрединов, В.М. Чубаров // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32. – № 5. – С. 3-18.
111. Тарарин, И.А. Меловой ультраосновной вулканизм Срединного хребта Камчатки / И.А. Тарарин // Вулканология и сейсмология. – 2015. – № 1. – С. 21-34.
112. Тарарин, И.А. Петрология и рудоносность метаморфических и магматических комплексов Центральной и Восточной Камчатки / И.А. Тарарин, З.Г. Бадрединов, В.М. Чубаров – Владивосток: Дальнаука, 2015. – 302 с.
113. Тарарин, И.А. Сульфидная медно-никелевая минерализация в метавулканитах андриановской свиты Срединно-Камчатского массива / И.А. Тарарин, В.М. Чубаров // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23. – № 6. – С. 76-83.

114. Трухин, Ю.П. Камчатская никеленосная провинция / Ю.П. Трухин, В.А. Степанов, М.Д. Сидоров // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 418. – № 6. – С. 802-806.
115. Трухин, Ю.П. Строение и никеленосность Кувалорогского базит-ультрабазитового массива / Ю.П. Трухин, М.Д. Сидоров, В.А. Степанов, В.Е. Кунгурова // Геология и разведка. – 2009. – № 6. – С. 43-49.
116. Трухин, Ю.П. Шанучское медно-никелевое месторождение: геолого-геофизическая модель, состав и геохимия руд / Ю.П. Трухин, В.А. Степанов, М.Д. Сидоров, В.Е. Кунгурова // Руды и металлы. – 2009. – № 5. – С. 75-81.
117. Трухин, Ю.П. Шанучское медно-никелевое рудное поле (Камчатка) / Ю.П. Трухин, В.А. Степанов, М.Д. Сидоров, В.Е. Кунгурова // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2011. – № 1. – С. 20-26.
118. Федорчук, А.В. Внутреннее строение офиолитов Камчатского Мыса (Восточная Камчатка) / А.В. Федорчук // Доклады Академии наук СССР. – 1989. – Т. 306. – № 4. – С. 944-947.
119. Федорчук, А.В. Возраст формирования офиолитов п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) / А.В. Федорчук, М.И. Карпенко, А.З. Журавлев // Доклады Академии наук СССР. – 1991. – Т. 316. – № 6. – С. 1457-1460.
120. Флеров Г.Б., Щелочной базальтовый магматизм Центральной Камчатки / Г.Б. Флеров, А.В. Колосков – М.: Наука, 1976. – 158 с.
121. Флеров, Г.Б. Геохимия позднемеловых-палеогеновых калиевых пород ранней стадии развития камчатской островной дуги / Г.Б. Флеров, П.И. Федоров, Т.Г. Чурикова // Петрология. – 2001. – Т. 9. – № 2. – С. 189-208.
122. Флеров, Г.Б. К проблеме «водности» ультраосновной магмы / Г.Б. Флеров, В.М. Чубаров // Материалы конференции посвященной дню вулканолога 30-31 марта, 2009 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. – С. 92-100
123. Флеров, Г.Б. К проблеме ультраосновных магм и высококалиевых базальтоидов / Г.Б. Флеров // Материалы ежегодной конференции, посвящен-

- ной Дню вулканолога 28-31 марта 2007 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. – С. 330-337.
124. Флеров, Г.Б. Мел-палеогеновый магматизм Срединного хребта Камчатки: проблема источников магм / Г.Б. Флеров, В.А. Селиверстов // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 2. – С. 1-14.
 125. Хайнасова Т.С., Кунгурова В.Е., Позолотина Л.А., Балыков А.А., Левенец О.О. Биовыщелачивание сульфидной кобальт-медно-никелевой руды месторождения Шануч различными культурами аборигенных микроорганизмов / Т.С. Хайнасова, В.Е. Кунгурова, Л.А. Позолотина, А.А. Балыков, О.О. Левенец // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) № 11. Специальный выпуск № 63 «Камчатка-2» – 2015. – С. 297-304.
 126. Ханчук, А.И. Эволюция древней сиалической коры в островодужных системах Восточной Азии / А.И. Ханчук – Владивосток, 1985. – 138 с.
 127. Хотин, М.Ю. Офиолиты Камчатского Мыса (Восточная Камчатка): строение, состав, геодинамические условия формирования / М.Ю. Хотин, М.Н. Шапиро // Геотектоника. – 2006. – № 4. – С. 61-89.
 128. Черкасова Т.Ю. Геолого-генетическая модель образования и потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов Нижнедербинского комплекса (Восточный Саян): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.11 / Черкасова Тамара Юрьевна – Томск, 2010. – 21 с.
 129. Чубаров, В.М. Минералого-геохимическая зональность рудоносных комплексов Центральной Камчатки / В.М. Чубаров // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. – Апатиты, 1988. – С. 69-72.
 130. Щека, С.А. Никеленосные кортландиты Камчатки / С.А. Щека, В.М. Чубаров // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1987. – № 12. – С. 50-61.
 131. Graciano P. Yumul, Jr. The Acoje Block Platiniferous Dunite Horizon, Zambales Ophiolite Complex, Philippines: Melt Type and Associated Geochemical Controls// Resource Geology. – 2001 – vol. 51, – no. 2. – P. 165-174.

132. Kitakaze, A. Horomanite, $(\text{Fe,Ni,Co,Cu})_9\text{S}_8$, and samaniite $\text{Cu}_2(\text{Fe,Ni})_7\text{S}_8$ new mineral species from the Horoman peridotite massif, Hokkaido, Japan / A. Kitakaze, H. Itoh, R. Komatsu // Journal of Mineralogical and Petrological Scienc. – 2011. – V. 106. – P. 204-210.
133. Kitakaze, A. Sugakiite $\text{Cu}(\text{Fe,Ni})_8\text{S}_8$, a new mineral. IMA General Meeting. Kobe. – July 2006. – Poster № 31-3. – Abstract N 90551.
134. Mustansir V. Manjoorsa, Graciano P. Yumul, Jr. Platinum-Group Element and Base Metal-related Mineralization in the Acoje Block, Zambales Ophiolite Complex // Journal of the Geological Society of the Philippines. – 1996. – V. LI, – Nos. 3 & 4. – P. 153-177.
135. Portnyagin, M. Mid-Cretaceous Hawaiian tholeiites preserved in Kamchatka / Maxim Portnyagin, Dmitry Savelyev, Kaj Hoernle, Folkmar Hauff, Dieter Garbe-Schönberg // Geology, November 2008. – V. 36; – no. 11; – P. 903–906. – doi: 10.1130/G25171A.1.
136. Tolstykh, N. Platinum-group minerals from the Olkhovaya-1 placers related to the Karaginsky ophiolite complex, Kamchatskiy Mys peninsula, Russia / N. Tolstykh, E. Sidorov, A. Kozlov // The Canadian Mineralogist, – 2009. – V. 47. – P. 1057-1074.

Фондовая

137. Алискеров А.А. Отчет о научно-исследовательской работе по теме онтогенез минеральных ассоциаций медно-никелевых месторождений Камчатки, их филогения. Петропавловск-Камчатский: НИГТЦ ДВО РАН, 2010.
138. Баженов Е.А., Лебедев М.М. Отчет о поисковых и контрольно-уязочных маршрутах, проведенных в верхнем течении реки Дукук летом 1960 г. (Быстринская партия). Петропавловск-Камчатский, 1961. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 635.
139. Байков А.И., Лукьянов В.Н. Объяснительная записка к прогнозной оценке меди, никеля и кобальта в Камчатской области (материалы к перспективному плану геологоразведочных работ на 1969-70 и 1971-72 гг.). Пе-

- тропавловск-Камчатский, 1968. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 2433.
140. Боровцов А.К., Ярыш Г.В., Козовая Т.В. Легенда западно-камчатской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (издание второе). Под ред. Поздеева А.И. Объяснительная записка. Петропавловск-Камчатский, 1999. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6039.
141. Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г. Отчет о результатах геологического доизучения ранее заснятых площадей, проведенного Кроноцкой партией в 1992-2001 г.г. с целью издания комплектов Государственной геологической карты РФ м-ба 1:200 000 листов О-58-XXVI, XXXI, XXXII; N-57-VI, N-58-I; N-57-XII, N-58-VII, N-57-XVIII (2-е издание). Петропавловск-Камчатский, 2002. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6181.
142. Бурмаков Ю.А., Новаков Р.М., Панфилова И.М., Трунин И.В. и др. Отчет о результатах геологического доизучения ранее заснятых площадей, проведенного Лесновской партией в 1998-2001 гг. с целью издания комплектов Государственной геологической карты РФ м-ба 1:200000 Лесновского блока Западно-Камчатской серии листов (Р-57-XXXVI, Р-58-XXXI, О-57-V, VI). Петропавловск-Камчатский, 2009. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 8018.
143. Власенко М.Ф., Лукьянов В.Н., Оточкин В.В. Отчет Южно-Дукукской партии и Южно-Дукукского отряда о результатах поисково-съёмочных работ масштаба 1:50 000, проведенных в районе перевала "У четырех падей" летом 1965 г. Петропавловск-Камчатский, 1966. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 2029.
144. Горбачев С.З., Байков А.И., Ерешко Э.М., Оточкин В.В. Отчет Дукукской партии о результатах геологосъёмочных и поисковых работ масштаба 1:25 000, проведенных в бассейне рек Левый Дукук и Степанова летом 1964

- г. Петропавловск-Камчатский, 1966. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 1920.
145. Гумовский А.С., Шаповаленко В.Н., Игнатьев Е.К. Отчет о результатах поисков медно-никелевых месторождений на участке Квинум за 1988-90 гг. Петропавловск-Камчатский, 1990. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 5484.
146. Дзюба Б.М., Иванов Б.П. Отчет о результатах поисковых геофизических работ, проведенных в пределах Кувалорог-Квинумской рудной зоны и Дукукского массива Квинумской партией в 1981-82 гг. Петропавловск-Камчатский, 1982. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 4514.
147. Долматов Б.К., Мельникова С.А., Данилов И.И. Геологическое строение и полезные ископаемые центральной части о-ва Карагинского (отчет о геологосъемочных и поисковых работах м-ба 1:50 000, проведенных Карагинской партией летом 1967 г.). Петропавловск-Камчатский, 1968. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 2685.
148. Евтихов И.В., Лукьянов В.Н., Дзюба Б.М. Отчет о результатах поисковых геолого-геофизических работ, выполненных в пределах габброноритового массива Кувалорог Кихчикской партией в 1979-80 гг. Петропавловск-Камчатский, 1980. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 4330.
149. Жегалова Г.В., Милютин А.Г., Бельков В.И. Отчет по научно-исследовательской работе: «Геологические условия формирования медных и медно-никелевых проявлений Центральной Камчатки, их оценка и вещественный состав». Петропавловск-Камчатский, 1977. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 8093.
150. Зотов В.П., Аврамова Н.Н. Отчет о результатах детальных поисковых работ на участке Медвежьем Дукук-Кувалорогской рудной зоны, проведенных Кувалорогской поисковой партией в 1979-82 гг. Петропавловск-Камчатский, 1982. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 4559.
151. Игнатьев Е.К., Шевченко Г.Г., Гумовский А.С. Отчет по поискам медно-порфировых и медно-никелевых месторождений в Хим-Кирганикской

- рудной зоне и предварительной оценке рудопроявлений Кирганик, Шануч, проведенным Верхне-Ичинской партией в 1975-78 гг. Петропавловск-Камчатский, 1979. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 4172.
152. Игнатьева Л.И., Грибанов Б.В., Гумовский А.С., Игнатьев Е.К. Отчет по поисково-оценочным работам в пределах северо-западной части Хим-Кирганикской рудной зоны (Шанучское рудное поле), проведенным Шанучским отрядом в 1977-79 гг. Петропавловск-Камчатский, 1979. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 4195.
153. Кременецкий А.А., Трухин Ю.П., Кувакин Г.В. Проведение комплекса работ, связанных с геологическим изучением платиново-медно-никелевых руд в южной части Дукусского никеленосного рудного узла Квинум-Кувалорогской зоны» (по договору № 2 от 07.08.2002 г.). НИГТЦ ДВО РАН: Петропавловск-Камчатский, 2003.
154. Кувакин Г.В., Вешняков Н.А. Отчет о результатах работ по геологическому изучению в южной части Дукусского никеленосного рудного узла (Квинум-Кувалорогская зона) за 2004 г. Петропавловск-Камчатский, 2004. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6684.
155. Кувакин Г.В., Лебедев А.Г., Чегенева О.И. Отчет о результатах работ по геологическому изучению в южной части Дукусского никеленосного рудного узла (Квинум-Кувалорогская зона) за 2003 г. Петропавловск-Камчатский, 2003. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6420.
156. Кучуганов В.А., Полетаев В.А., Байков А.И. Отчет о результатах работ по теме: «Количественная и геолого-экономическая оценка ресурсного потенциала территории Российской Федерации с определением приоритетов лицензионного недропользования на алмазы, благородные и цветные металлы» (Камчатская область и Корякский автономный округ). ФГУП «Камчатская ПСЭ», Петропавловск-Камчатский, 2003. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6265
157. Лашинский Г.В., Лукьянов В.Н. Отчет о результатах региональных и поисковых геолого-геофизических работ, выполненных в Южной части

- Срединного Камчатского выступа Дукукской партией в 1976-79 гг. Петропавловск-Камчатский, 1979. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 4242.
158. Лезин В.И. Отчет о результатах работ по геологическому изучению в южной части Дукукского никеленосного рудного узла (Квинум-Кувалорогская зона) за 2002-04 гг. Петропавловск-Камчатский, 2004. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6458.
159. Лезин В.И., Карпов А.В., Мусевич С.С. Отчет по геологическому доизучению кобальт-медно-никелевого месторождения Шануч за 2002-2004 гг. (Детальная разведка с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2004 г.) Петропавловск-Камчатский, 2004. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 6689.
160. Литвинов А.Ф., Лопатин В.Б., Кудинов В.И. Геологическое строение и полезные ископаемые полуострова Озерного. Отчет Киучинской партии о результатах геологосъемочных работ и геологического доизучения масштаба 1:200 000, проведенных в 1985-87 гг. Листы О-58-XIX, О-58-XX. Петропавловск-Камчатский, 1988. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 5313.
161. Мельникова С.А., Кайгородов Б.М., Федореев В.Н. Геологическое строение и полезные ископаемые о-ва. Карагинского. Окончательный отчет о результатах геологосъемочных и редакционно-увязочных работ м-ба 1:200 000, проведенных Карагинской партией в 1970-71 гг. на территории листов 0-58-VIII, 0-58-IX, 0-58-XIV. Петропавловск-Камчатский, 1973. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 3440.
162. Мельникова С.А., Сидоренко В.И., Кайгородов Б.М., Федореев В.Н. Геологическое строение и полезные ископаемые северной части острова Карагинского. Окончательный отчет о результатах геологосъемочных работ м-ба 1:50 000 и наземных геофизических работ, проведенных Маркеловской партией в 1972-73 гг. на территории листов О-58-29-Б, Г; О-58-30-А, В. Петропавловск-Камчатский, 1974. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 3634.

163. Нодия В.А., Полетаев В.А. и др. Отчет о результатах опытно-методических работ по опробованию рыхлых отложений в бассейне руч.Стланникового, Бабушкина и извлечению платиноидов в 1984-85 г.г. (Усть-Камчатский р-н). Петропавловск-Камчатский, 1985. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 4851.
164. Пантелеева Т.С., Радыгин А.И., Швец Л.К. Предварительная технологическая оценка обогатимости руд Шанучского сульфидного медно-никелевого месторождения. Петропавловск-Камчатский, 1979. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 8292.
165. Пилипчук Н.А., Вешняков Н.А., Кувакин Г.В. Отчет о результатах детальных поисковых работ на участках «Графитовый» и «Геофизический» Шанучского рудного поля за 2003-06 гг. Петропавловск-Камчатский, 2007. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 7390.
166. Полетаев В.А. Прогнозная оценка никеленосности Срединной металлогенической зоны. Отчет по теме Центральной прогнозно-металлогенической партии за 1989-90 гг. Петропавловск-Камчатский, 1990. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 5481.
167. Родных Г.И., Шевельков Ф.А. Отчет о поисково-оценочных работах на ртуть на острове Карагинском, проведенных Карагинским отрядом летом 1970 года. Петропавловск-Камчатский, 1971. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 3214.
168. Сляднев Б.И. Отчет о выполненных работах по «Созданию комплектов Государственных геологических карт м-ба 1:1000 000 листов О-57 (Палана) О-58 (Усть-Камчатск)», проведенных в 2007-10 гг. Петропавловск-Камчатский, 2010. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 8439.
169. Сляднев Б.И., Мельникова С.А., Стефанов Ю.М. Отчет Укинской партии о геологосъемочных работах масштаба 1:200 000, проведенных в 1968-69 годах на территории полуострова Озерного и Хавывенской возвышенности. Петропавловск-Камчатский, 1970. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 2999.

170. Степанов В.А., Кунгурова В.Е., Сидоров М.Д., Новаков Р.М. Отчет о результатах прогнозных геолого-геохимических, минералогических и петрофизических исследований рудопроявлений и вмещающих руды пород интрузивного комплекса и оценки платиноносности руд рудопроявления Аннабергитовая Щель (по договору № 91-ГТ/10). НИГТЦ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 2011.
171. Степанов В.А., Селянгин О.Б., Кононов В.В. Сравнительное прогнозно-геохимическое изучение рудоносных и безрудных интрузий Шанучского рудного поля с целью разработки стратегии ГРР» (по договору № 2 от 29.06.2005). НИГТЦ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 2006.
172. Степанов В.А., Сидоров М.Д., Кунгурова В.Е. Отчет НИР по теме: Геохимия, Минералогия и кристаллохимия платиноидов и золота медно-никелевых месторождений и платиноносность базит-ультарабазитовых комплексов Камчатской никеленосной провинции. НИГТЦ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 2010.
173. Степанов В.А., Сидоров М.Д., Новаков Р.М. Отчет о результатах прогнозно-геохимических исследований западной части Квинум-Кувалорогской никеленосной зоны (по договору № 122-ГТ/07 от 10 июня 2007 г.). НИГТЦ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 2008.
174. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Селянгин О.Б. Отчет о результатах прогнозно-геохимических исследований в пределах Квинум-Кувалорогской никеленосной зоны (по договору № 56-ГТ/06 от 12 мая 2006 г.). НИГТЦ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский, 2007.
175. Шаповаленко В.Н., Игнатьев Е.К., Лезин В.И. Отчет о результатах работ по оценке рудной залежи № 1 месторождения Шануч для промышленного освоения за 1992-93 гг. Петропавловск-Камчатский, 1994. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 5712.
176. Шаповаленко В.Н., Лезин В.И. Отчет о результатах геологоразведочных работ на месторождении Шануч за 1992 г. Петропавловск-Камчатский, 1992. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 8002.

177. Шаповаленко В.Н., Шевченко Ю.Г. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на Шанучском месторождении за 1991-94 гг. Петропавловск-Камчатский, 1994. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 5742.
178. Щепотьев Ю.М., Литвинов А.Ф. Отчет о результатах работ по объекту «Оценка состояния, использования и перспектив развития рудной минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Камчатского края с целью выделения локальных участков для проведения поисковых работ и лицензирования участков недр». Государственный контракт от 12 марта 2012 г. № 1/12 РОСГЕО. Москва, 2013. Камчатский филиал «ТФГИ по ДФО». № 8920.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Список рисунков

Рисунок 1. Схема расположения массивов мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки, проявлений и пунктов никелевой минерализации (а). Схема б – Камчатская никеленосная провинция (увеличенный фрагмент). Составлено по [25, 99, 114], с изменениями.	8
Рисунок 2. Распределение NiO в оливинах пород с выраженной сульфидной минерализацией (убогих руд). По [70], с изменениями.	37
Рисунок 3. Шприсгеймиты (а, заимствовано из [122]) и кортландиты (б). По [69], с изменениями.	38
Рисунок 4. Смятые в сложные складки сланцы хейванской свиты с линзами и будинами кварца.	45
Рисунок 5. Геологическая карта массива Кувалорог. Составлена по собственным данным с использованием материалов Г. В. Кувакина, а также [6].	46
Рисунок 6. Жилы гранитоидов третьей фазы кольского комплекса, секущие породы дукукского комплекса.	48
Рисунок 7. Среднезернистые лейконориты в западной части Кувалорогской интрузии.	49
Рисунок 8. Характер залегания пород в западной части Кувалорогской интрузии.	50
Рисунок 9. Текстуры пород в юго-западной части массива Кувалорог.	51
Рисунок 10. Характер ненарушенного контакта диоритов и сланцев хейванской свиты.	52
Рисунок 11. Ксенолиты в гранатовых диоритах (западная часть массива Кувалорог).	53
Рисунок 12. Ксенолиты вмещающих пород в западной части массива Кувалорог.	54
Рисунок 13. Сингенетичная сульфидная и оксидная рудная минерализация в северо-западной части массива Кувалорог.	56

Рисунок 14. Флогопит- плагиоклаз- роговообманковые оливиновые вебстериты (кортландиты).	59
Рисунок 15. Массивные сингенетические руды из рудопроявления Рассоха. Сидеронитовая структура обусловлена закругленными и идиоморфными кристаллами ортопироксена в сульфидном матриксе (черное).	62
Рисунок 16. Соотношения сульфидных минералов в восточной части массива Кувалорог (рассеяная сульфидная медно-никелевая минерализация).	63
Рисунок 17. Геологическое строение рудопроявления Аннабергитовая Щель.	66
Рисунок 18. Рудовмещающие породы рудопроявления Аннабергитовая Щель. По [170], с изменениями.	70
Рисунок 19. Микропегматиты рудовмещающих пород	71
Рисунок 20. Соотношения сульфидов в массивных рудах рудопроявления Аннабергитовая Щель (<i>в, г, д</i> – по [42], с изменениями).	73
Рисунок 21. Схема геолого-структурного строения Шанучского рудного поля (по [117], с изменениями).	76
Рисунок 22. Схематическая карта (<i>а</i>) и разрез по линии АВ (<i>б</i>) участка Восточно-Геофизический [63, 61].	77
Рисунок 23. Содержание сульфидов в рудном теле в форме дискретной трехмерной модели [63].	82
Рисунок 24. Характер пространственного распределения никеля, меди, кобальта и платиноидов в рудном теле (по [63], с изменениями).	83
Рисунок 25. Соотношения главных рудообразующих минералов в рудах на участке Восточно-Геофизическом.	85
Рисунок 26. Соотношения главных рудообразующих минералов в эпигенетических рудах.	90
Рисунок 27. Соотношения медно-никелевой сульфидной минерализации и пострудных гранитоидов	91
Рисунок 28. Обзорная схема геологического строения южной части полуострова Камчатский Мыс (по [7], с изменениями).	99
Рисунок 29. Оливиновые вебстериты.	102

Рисунок 30. Морфология выделений рудных минералов в оливиновых вебстеритах [64, 62].....	104
Рисунок 31. Сульфидный сросток сложного состава с платиноидами и схемы соотношений минералов внутри сростка [по 62, 64].....	107
Рисунок 32. Соотношения минералов в аваруитах из серпентинитов (зерна из пролювиальных отложений в пределах гипербазитового массива г. Солдатской [66])	110
Рисунок 33. Соотношения содержаний железа, никеля и кобальта (<i>a</i>) в пентландитах (масс. %) и зависимость содержаний никеля от отношения Ni/Fe (<i>b</i>) в аваруитах (атомные проценты). Оконтурены облака фигуративных точек составов минералов.....	113
Рисунок 34. Сводная схема стратификации комплексов пород, входящих в офиолитовую ассоциацию п-ова Камчатский Мыс. Составлено по [7, 67, 74, 127, 131, 134] с изменениями и дополнениями.....	117
Рисунок 35. Тектоническая схема района о-ва Карагинский (<i>a</i>) и вертикальный разрез плотностной модели через рудопоявление Маркеловское (<i>b</i>). По [65, 99].	119

Список таблиц

Таблица 1. Оценка средних содержаний никеля и сопутствующих меди и кобальта в рудах отдельных проявлений, связанных с мафит-ультрамафитовыми формациями Камчатки.....	24
Таблица 2. Оценки прогнозных ресурсов никеля и сопутствующих меди и кобальта в металлогенических подразделениях и отдельных рудопоявлениях Камчатского региона.....	25
Таблица 3. Сравнительная характеристика оценок прогнозных ресурсов никеля и сопутствующих меди и кобальта металлогенических подразделений, связанных с никеленосными объектами в различных мафит-ультрамафитовых плутонических формациях Камчатки	30

Таблица 4. Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO_3) в безрудных породах мафит-ультрамафитовых формаций региона и ассоциирующих с ними вулканитах.....	32
Таблица 5. Минералы никеля в породах и рудах Камчатского региона.	33
Таблица 6. Оценка содержаний никеля в сульфидах и самородных металлах из пород и руд, связанных с различными геологическими формациями	35
Таблица 7. Оценка содержания изоморфной примеси никеля в оливинах, шпинелидах, оксидах и слюдах плутонических пород различной формационной принадлежности, а также вулканитов, ассоциирующих с массивами дунит-клинопироксенит-габбровой формации.....	36
Таблица 8. Особенности роговообманковых перидотитов из комплексов различной формационной принадлежности.....	40
Таблица 9. Критерии поиска и выделения никеленосных интрузий норит-кортландитовой формации	41
Таблица 10. Представительные анализы сульфидов из руд и пород с сульфидной минерализацией в северо-западной части Кувалорогского массива	60
Таблица 11. Представительные анализы сульфидов из руд и пород с сульфидной минерализацией в восточной части Кувалорогского массива	64
Таблица 12. Содержания никеля, кобальта, меди и платиноидов в различных типах руд проявления Аннабергитовая Щель.....	67
Таблица 13. Представительные анализы рудных минералов проявления Аннабергитовая Щель.....	74
Таблица 14. Содержания никеля, кобальта, меди и платиноидов в различных типах руд на участке Восточно-Геофизическом.....	79
Таблица 15. Составы главных минералов руд на участке Восточно-Геофизическом	86
Таблица 16. Схема последовательности минералообразования и состав минеральных ассоциаций медно-никелевых рудопроявлений норит-кортландитовой формации	87

Таблица 17. Представительные составы хромшпинелидов из вебстеритов (масс.%)	105
Таблица 18. Представительные составы сульфидов из вебстеритов (масс.%).....	106
Таблица 19. Химический состав аваруита и самородной меди из вебстеритов (масс.%)	106
Таблица 20. Представительные составы минералов благородных металлов оливиновых вебстеритов (масс.%)	109
Таблица 21. Представительные составы выделений пентландита в аваруите (масс.%)	111
Таблица 22. Представительные составы самородных фаз с никелем и кобальтом (масс.%)	111
Таблица 23. Представительные составы орселита и хизлевудита в зернах аваруита (масс.%)	112
Таблица 24. Схема последовательности минералообразования в никелевых минеральных ассоциациях дунит-гарцбургит-габбровой формации	114
Таблица 25. Сравнение особенностей медноколчеданных с никелем и кобальтом объектов Восточной Камчатки и Южного Урала (по [65]).	124

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Описательная статистика к таблице 4 «Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO₃) в безрудных породах мафит-ультрамафитовых формаций региона и ассоциирующих с ними вулканитах» (содержания Ni)

Элемент	Магматические формации и ассоциирующие вулканиты	Тип пород	Obs	Mean	Var	Std Dev	Min	25%	Median	75%	Max
Ni	вулканиты, ассоциирующие с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации	средние	5	30.08	140.31	11.85	12.6	27.65	28.57	37.76	43.81
		основные	30	131.98	13096.45	114.44	15.16	36.65	84.635	215	408
		ультраосновные	9	1254.44	4127.78	64.25	1150	1220	1250	1300	1350
	вулканиты, ассоциирующие с умеренно-щелочными разностями пород массивов дунит-клинопирок.-габбровой формации	кислые	4	10.02	34.35	5.86	4.8	5.33	8.945	14.72	17.4
		средние	24	21.93	431.12	20.76	1.87	5.45	17.55	33.33	92.18
		основные	29	73.90	8091.38	89.95	7	30	44.44	73.67	456.9
		ультраосновные	22	1129.30	175046.18	418.39	272.2	905.05	1150	1380	1950
	вулканиты, ассоциирующие с массивами дунит-клинопирок.-габбровой формации	основные	46	75.96	3881.11	62.30	9.79	42.01	61.5	74	320
		ультраосновные	2	231.00	—	—	62	—	—	—	400
	вулканиты, пространственно ассоциирующие с массивами кортландит-норитовой формации в пределах КСМ	основные	36	386.40	143572.70	378.91	22.3	73.3	186	783	1115
		ультраосновные	18	978.40	98652.83	314.09	383	730	1073	1139	1526
	дунит-гарцбургит-габбровая	основные	9	192.33	15183.25	123.22	84	93	156	212	470
		ультрамафиты осн.	1	—	—	—	—	—	—	—	460
		ультраосновные	27	1634.15	530874.13	728.61	417	870	1894	2237	2714
	умеренно-щелочные пироксениты, габбро, монцогаббро, шонкиниты, монзониты, сиениты, флогопит. Перидотиты дунит-клинопирок.-габбровой формации	средние	10	25.80	385.29	19.63	9	13	18.5	36	74
		основные	10	48.10	1774.10	42.12	16	23	37	54	160
		ультрамафиты осн	13	69.08	1415.08	37.62	37	45	56	80	175
		ультраосновные	3	953.33	—	—	820	—	—	—	1080
	дуниты, клинопироксениты, габброиды дунит-клинопирок.-габбровой формации	основные	35	76.11	5519.66	74.29	12	39	60	90	460
		ультрамафиты осн	74	158.24	20595.45	143.51	26	79	110	190	942
		ультраосновные	144	1006.06	129904.35	360.42	82	800	905.5	1233	2191
	кортландит-норитовая	основные	24	113.71	9282.91	96.35	12	24	98	181.5	372
		ультрамафиты осн.	16	426.31	348117.56	590.01	20	105	175.5	380.5	2090
		ультраосновные	9	945.56	376398.78	613.51	260	519	730	1210	2086

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 2. Описательная статистика к таблице 4 «Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO₃) в без-рудных породах мафит-ультрамафитовых формаций региона и ассоциирующих с ними вулканитах» (содержания Co)

Эле-мент	Магматические формации и асо-циирующие вулканиты	Тип пород	Obs	Mean	Var	Std Dev	Min	25%	Median	75%	Max
Co	вулканиты, ассоциирующие с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации	средние	5	15.54	23.59	4.86	8.12	14.87	16	17.17	21.54
		основные	27	43.04	255.31	15.98	6	37.62	45	51.72	70
		ультраосновные	9	115.89	20.11	4.48	109	113	116	119	124
	вулканиты, ассоциирующие с умеренно-щелочными разностями пород массивов дунит-клинопирок.-габбровой формации	кислые	4	8.50	—	—	6.2	—	—	—	10.8
		средние	24	22.41	71.23	8.44	9.5	15.955	22.44	26.5	43.44
		основные	28	34.26	176.85	13.30	12.85	27.625	32.525	38.43	86.86
		ультраосновные	22	85.07	393.95	19.85	51	73	92	98	124
	вулканиты, ассоциирующие с массивами дунит-клинопирок.-габбровой формации	основные	8	34.27	154.47	12.43	15.14	25.755	33.92	44.83	50
		ультраосновные	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	вулканиты, пространственно ассоциирующие с массивами кортландит-норитовой формации в пределах КСМ	основные	36	60.85	772.14	27.79	8.8	41.315	62.35	84.3	135
		ультраосновные	18	83.13	332.55	18.24	54	73.01	78.505	95	126
	дунит-гарцбургит-габбровая	основные	9	51.22	61.19	7.82	40	45	50	59	62
		ультрамафиты осн	1	—	—	—	—	—	—	—	70
		ультраосновные	16	73.00	1045.73	32.34	30	53	62	107.5	126
	умеренно-щелочные пироксениты, габбро, монцогаббро, шонкиниты, монцониты, сиениты, флогопит. Перидотиты дунит-клинопирок.-габбровой формации	средние	10	21.70	107.12	10.35	4	15	23	25	40
		основные	9	35.44	107.03	10.35	22	30	32	39	56
		ультрамафиты осн	13	75.54	79.94	8.94	56	72	80	82	85
		ультраосновные	3	55.67	—	—	40	—	—	—	65
	дуниты, клинопироксениты, габброиды дунит-клинопирок.-габбровой формации	основные	22	41.77	70.85	8.42	30	37	41.5	45.57	64
		ультрамафиты осн	56	66.53	479.78	21.90	30	47	66.5	84.5	120
		ультраосновные	133	186.11	4124.08	64.22	68	128	180	240	410
	кортландит-норитовая	основные	24	46.92	215.30	14.67	19	36	44	57.5	77
		ультрамафиты осн	16	80.69	1572.76	39.66	20	56	75	95	190
		ультраосновные	9	120.89	1416.36	37.63	77	96	120	140	198

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 3. Описательная статистика к таблице 4 «Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO₃) в безрудных породах мафит-ультрамафитовых формаций региона и ассоциирующих с ними вулканитах» (содержания Cu)

Элемент	Магматические формации и ассоциирующие вулканиты	Тип пород	Obs	Mean	Var	Std Dev	Min	25%	Median	75%	Max
Cu	вулканиты, ассоциирующие с массивами дунит-гарцбургит-габбровой формации	средние	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		основные	11	66.27	1743.22	41.75	20	31	66	80	166
		ультраосновные	5	65.90	4.78	2.19	64.3	64.4	64.5	67.1	69.2
	вулканиты, ассоциирующие с умеренно-щелочными разностями пород массивов дунит-клинопирок.-габбровой формации	кислые	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		средние	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		основные	13	88.96	4414.66	66.44	6.8	22.41	105.53	142.3	225
		ультраосновные	5	49.09	1082.64	32.90	7.16	33.63	48.43	60.14	96.11
		основные	4	93.17			63.73				126.1
		ультраосновные	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	вулканиты, пространственно ассоциирующие с массивами кортландит-норитовой формации в пределах КСМ	основные	30	118.03	12490.47	111.76	7.9	28.6	80.15	189	402
		ультраосновные	9	122.26	6130.21	78.30	20	72	124	150	270
	дунит-гарцбургит-габбровая	основные	9	81.56	3028.78	55.03	19	32	60	135	153
		ультрамафиты осн	1	—	—	—	—	—	—	—	30
		ультраосновные	27	19.54	99.05	9.95	5	11.9	15	28.16	46
	умеренно-щелочные пироксениты, габбро, монцогаббро, шонкиниты, монцониты, сиениты, флогопит. Перидотиты дунит-клинопирок.-габбровой формации	средние	1	—	—	—	—	—	—	—	21
		основные	4	138.50	48859.67	221.04	22	26	31	251	470
		ультрамафиты осн	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		ультраосновные	3	47.33	—	—	35	—	—	—	62
	дуниты, клинопироксениты, габброиды дунит-клинопирок.-габбровой формации	основные	20	116.69	9534.56	97.65	4.7	36	100.9	186	350
		ультрамафиты осн	30	68.69	9502.34	97.48	4.98	12	27	77	460
		ультраосновные	36	6.54	55.27	7.43	0.375	1.825	4.22	8.925	38
	кортландит-норитовая	основные	24	56.54	3022.35	54.98	12	26.5	43.5	60	276
		ультрамафиты осн	15	161.47	25212.27	158.78	10	41	88	236	576
		ультраосновные	9	157.67	5002.50	70.73	68	104	129	216	272

Примечание. В таблицах приложения приведена описательная статистика к таблице 4 «Оценка содержаний никеля, кобальта, меди и серы (по содержанию SO₃) в безрудных породах мафит-ультрамафитовых формаций региона и ассоциирующих с ними вулканитах». При количестве анализов от 3 до 4 в качестве оценки среднего приняты средние арифметические значения содержаний. В остальных случаях использованы медианы. Медиана, нижний и верхний квартили применены по причине небольшого объема выборок, высоких коэффициентов вариации вследствие резкой асимметрии распределений и пр.