

На правах рукописи

ГОРДОН Фаина Андреевна



**ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ И ПРЕДПОСЫЛКИ ЗОЛОТОГО
ОРУДЕНЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ХАУТАВААРСКОЙ СТРУКТУРЫ (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)**

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

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук

Евдокимов Александр Николаевич

Официальные оппоненты:

Волков Александр Владимирович

доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии», лаборатория геологии рудных месторождений полезных ископаемых, заведующий лабораторией

Афанасьева Елена Николаевна

кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», отдел геологии урановых месторождений и радиоэкологии, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация – ФГБУН «Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук»

Защита диссертации состоится 28 июня 2017 г. в 12 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.224.01 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт - Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru
Автореферат разослан 28 апреля 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КИРЬЯКОВА
Ирина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Хаутаваарская зеленокаменная структура расположена в пределах Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса восточной части Балтийского щита, к которому приурочены известные в Карелии золоторудные объекты Педролампи, Новые Пески и др. Начиная с середины прошлого столетия на территории Южной Карелии проводились многочисленные геологоразведочные работы под руководством М.Е. Зильбера, В.В. Яковлевой, И.П. Папазова, В.В. Сиваева, А.Ф. Горошко и др. (Зильбер и др., 1957; Яковлева и др., 1972; Папазов и др., 1985; Сиваев и др., 1988; Горошко и др., 1998) в результате которых в Хаутаваарской структуре были выявлены серноколчеданные месторождения, произведена оценка золотоносности и выделены перспективные рудные поля. Несмотря на более чем полувековую историю исследований и высокие оценки перспективности, поиски значимых месторождений золота пока не увенчались успехом, а многие вопросы геологического строения структуры и рудоносности остаются дискуссионными. Выполняемая работа направлена на развитие методики ведения поисковых работ, решение вопроса о позиции оруденения в пределах северо-восточной части Хаутаваарской структуры и создание геолого-генетической модели формирования золотого оруденения.

Степень разработанности исследуемого направления. Значительный вклад в изучение геологического строения и металлогении Хаутаваарской структуры внесли С.И. Рыбаков (Рыбаков, 1980, 1987), В.И. Робонен (Серноколчеданные..., 1978), А.И. Светова (Светова, 1988), С.А. Светов (Светов, 1999, 2009, 2010), А.Ф. Горошко (Горошко и др., 1998), В.В. Сиваев (Сиваев и др., 1988) и другие геологические исследователи Карелии. В тематической работе О.А. Воиновой, Б.Ю. Астафьева и др. (Воинова, Астафьев, 1999), посвященной всестороннему изучению средне-, низкотемпературных метасоматитов раннего докембрия Карелии, в частности рассмотрены состав и строение метасоматитов краевых частей Хаутаваарской структуры. В последние годы вопрос благороднометалльной минерализации структуры активно разрабатывается Л.В. Кулешевич и соавторами (Кулешевич и др., 2009, 2015; Дмитриева, 2016; Дмитриева и др., 2016). С 2012 года по настоящее время в пределах площади ведутся геологоразведочные работы ООО «Карельская Рудная Компания» (главный геолог – Тытык В.М.).

Цель работы. Создание геолого-генетической модели и выделение комплекса поисковых признаков и предпосылок золотого оруденения северо-восточной части Хаутаваарской структуры.

Задачи:

1. Проанализировать фондовые и литературные данные по геологическому строению Хаутаваарской структуры, минеральному и вещественному составу рудной минерализации в пределах её северо-восточной части;
2. Уточнить особенности геологического строения северо-восточной части Хаутаваарской структуры, выделить геологические структуры благоприятные для локализации золотого оруденения;
3. Провести типизацию рудной минерализации и установить закономерности ее проявления;
4. Установить геологические, структурные и вещественные признаки потенциальной рудоносности северо-восточной части Хаутаваарской структуры.

Фактический материал, методы исследования, личный вклад автора. Автор принимал участие в поисковых работах на золото, проводившихся в северной части Хаутаваарской структуры под руководством к.г.-м.н. И.А. Алексеева и к.г.-м.н. А.В. Сергеева (Институт Наук о Земле, СПбГУ) в 2013-2014 г.г. Эти работы определили выбор объекта детального изучения для проведения дальнейших исследований. Геологический и каменный материал, собранный автором в ходе детальных работ в северо-восточной части Хаутаваарской структуры в период с 2015 по 2016 г.г., послужил основой диссертации. Собрана представительная коллекция пород изученной площади (250 образцов). Кроме того, автором проанализирован значительный объем фондовых и опубликованных данных по району работ.

Комплексное минералого-петрографическое изучение гидротермально-метасоматических образований и исходных пород северо-восточной части Хаутаваарской структуры проводилось на оптическом микроскопе Leica DM2700 P на кафедре геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Горного университета. Химический состав пород определялся рентгеноспектральным флуоресцентным (силикатным) методом (XRF) в ЦАЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (аналитик Цимощенко Б.А.), портативным рентгеноспектральным флуоресцентным анализатором Innov-X Delta в Горном университете, атомно-эмиссионным анализом с индуктивно связанной плазмой на атомно-эмиссионном

спектрометре iCap6300duo фирмы Intertech в лаборатории ЗАО «РАЦ МИА» (аналитик Зимина С.Н.). Расчёт баланса вещества для оценки направленности метасоматических процессов проведён с использованием программы MassBalance (Доливо-Добровольский Д.В., Бушмин С.А., 2010).

Исследования аншлифов для установления последовательности минералообразования, выявления закономерностей распределения и определения состава рудной минерализации проводились на оптическом микроскопе Leica DM2700 P, а также на сканирующем электронном микроскопе TM 3000, оснащённом приставкой энергодисперсионного микроанализа OXFORD в Ресурсном центре микроскопии и микроанализа СПбГУ (аналитик Брусницына Е.А.), микроскопе-микроанализаторе CamScan MV 2300 в ФГБУ «ВСЕГЕИ» (аналитик Грузова Е.Л.) и сканирующем электронном микроскопе Hitachi S 3400 N, оснащённом приставкой энергодисперсионного микроанализа OXFORD в ресурсном центре Научного парка СПбГУ «Геомодель» (аналитики Власенко Н.С., Шиловских В.В.). Исследования состава минеральных включений проводились с помощью спектрометра комбинационного рассеяния Renishaw InVia в Горном университете (аналитик Васильев Е.А.). Содержания благородных металлов в породах исследуемой площади определялись пробирно-атомно-абсорбционным методом в ЗАО «РАЦ МИА» (аналитик Ушинская Л.А.).

Защищаемые положения:

1. В северо-восточной части Хаутаваарской структуры наиболее перспективными для обнаружения золотого оруденения являются участки проявления геохимических аномалий Cu, Bi, W, As, Pb, Mo в пределах зон расланцевания северо-западного и северо-восточного простирания в южном экзоконтакте Хаутаваарского массива и As, Pb, Mo в субмеридиональной зоне расланцевания вдоль контакта с массивом Коруд.

2. Выделено два типа золоторудной минерализации: золото-висмут-халькопиритовая в зонах развития эпидот-пропилитовой гидротермально-метасоматической ассоциации; золото-серебро-полиметаллическая, приуроченная к зонам интенсивного проявления гидротермально-метасоматических ассоциаций карбонат-хлорит-кварцевого и карбонат-серицит-кварцевого состава.

3. Особенности формирования и размещения золотого оруде-

нения в северо-восточной части Хаутаваарской структуры определяются его генетической связью с дифференцированным санукитоидным массивом, структурной связью с субмеридиональной и диагональной системами рудоконтролирующих разломов и областью развития даек базит-гипербазитового состава.

Научная новизна. На основе анализа, полученного с помощью комплексных геолого-геохимических, петролого-минераграфических исследований гидротермально-метасоматических образований и вмещающих их пород, в пределах северо-восточной части Хаутаваарской структуры выделено два типа потенциально перспективного золотого оруденения и предложена геолого-генетическая модель его формирования. На исследуемой площади впервые выделено и описано золотое оруденение с атипичной минеральной ассоциацией.

Практическая значимость. В результате исследований уточнены закономерности распределения и особенности формирования золотого оруденения северо-восточной части Хаутаваарской структуры, позволяющие выделить комплекс поисковых признаков, который может быть использован при проектировании геологоразведочных работ.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались на Пятой и Шестой Российской молодежной научно-практической Школе с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» ИГЕМ РАН, 2015, 2016. Автором по теме диссертации опубликовано 4 статьи и тезисы докладов, в том числе 2 статьи в журналах из списка ВАК.

Структура и объём работы. Диссертация изложена на 136 страницах, включая введение, 5 глав, заключение, список литературы из 120 наименований; содержит 39 рисунков, 13 таблиц и 3 приложения. В *первой главе* представлены общие сведения о положении в региональных структурах, геологическом строении и истории геологического развития архейских зеленокаменных поясов центральной части Карельского кратона. Также приведена характеристика основных геолого-генетических типов золотого оруденения зеленокаменных поясов и намечены рудоконтролирующие факторы и поисковые признаки золотого оруденения различного генезиса. Во *второй главе* рассмотрено геологическое строение Хаутаваарской структуры и площади детальных исследований, расположенной в её северо-восточной части, выделены геологические структуры благоприятные для локализации золотого оруденения. В *третьей главе* приведена характеристика первичных

геохимических аномалий исследуемой площади, описаны особенности их строения и состава. В *четвертой главе* охарактеризованы типы гидротермально-метасоматических образований северо-восточной части Хаутаваарской структуры, описана их зональность и сопутствующая им рудная минерализация. *Пятая глава* содержит геолого-генетическую модель золотого оруденения северо-восточной части Хаутаваарской структуры, поисковые признаки и предпосылки золотого оруденения с атипичной минеральной ассоциацией. В заключении приведены основные результаты выполненных исследований, полученные из них выводы и рекомендации.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю профессору д.г.-м.н. А.Н. Евдокимову за помощь в работе над диссертацией. Автор глубоко признателен заведующему кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых д.г.-м.н. А.В. Козлову за конструктивную критику, внимание и поддержку. Особую благодарность автор выражает к.г.-м.н. В.И. Леонтьеву, к.г.-м.н. Я.Ю. Бушуеву, к.г.-м.н. Е.Л. Котовой, а также другим сотрудникам и аспирантам кафедр ГРМПИ и МКП за всестороннюю помощь и полезные рекомендации.

Автор выражает благодарность главному геологу ООО «Карельская Рудная Компания» В.М. Тытыку за ценные материалы, консультации и предоставление возможности проведения исследований на площади; к.г.-м.н. И.А. Алексееву и к.г.-м.н. А.В. Сергееву (Институт Наук о Земле, СПбГУ) за возможность участия в полевых работах и каменный материал; к.г.-м.н. С.В. Кашину (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), к.г.-м.н. С.А. Бушмину (ИГГД РАН) за консультации и помощь в исследовании гидротермально-метасоматических образований; к.г.-м.н. Л.В. Кулешевич и А.В. Дмитриевой (ИГ КарНЦ РАН) за консультации и сотрудничество; М.В. Стифеевой (ИГГД РАН) за переданные искусственные полированные аншлифы.

Значительную помощь в проведении лабораторных исследований оказали к. х. н. Л.А. Ушинская и С.Н. Зимина (ЗАО «РАЦ МИА»), д. г. - м.н. В.Ф. Проскурнин (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Е.А. Брусницына (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Е.В. Черемазова (Горный университет), Е.Ю. Акимова (Институт Наук о Земле, СПбГУ), Е.Л. Грузова (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Н.С. Власенко и В.В. Шиловских (РЦ СПбГУ «Геомодель»), к.г. - м.н. Е.А. Васильев (Горный университет) – всем автор выражает искреннюю благодарность.

Автор сердечно благодарит А.А. Блинова за помощь и участие в полевых работах, постоянную поддержку и мотивацию к работе над диссертацией.

Описание объекта исследования. Исследуемая площадь расположена в Хаутаваарской зеленокаменной структуре, которая является южным окончанием Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса центральной части Карельского кратона Балтийского щита (рисунок 1). Структура образована верхнеархейскими вулканогенно-осадочными толщами хаутаваарской серии и прорывающими их интрузивными телами гранитоидной и базит-гипербазитовой формаций. Тектоническое строение района определяют зоны глубинных раннеархейских разломов субмеридионального простирания и оперяющие их разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного простирания, сформированные в позднеархейский орогенный этап (Горошко и др., 1998).

Проявления золота, известные в пределах Хаутаваарской структуры, по характеру рудоконтролирующих факторов, можно разделить на три группы: 1) приуроченные к зонам расланцевания (Хюрсюльское, Новые Пески, Коруд, 77-ЮК); 2) связанные с Хаутаваарским гранитоидным массивом известково-щелочной серии (Центральное, Виетукалампи); 3) приуроченные к колчеданным месторождениям (Нялмозерское, Ведлозерское, Хаутаваарское) (Кулешевич и др., 2009). Наиболее перспективные проявления золота (Новые Пески, Центральное, Хюрсюльское) относятся к первым двум группам и расположены в центральной и северной частях структуры, над скрытыми диагональными разломами северо-западного и северо-восточного простирания (Сиваев и др., 1988).

В последние годы в пределах северо-восточной части Хаутаваарской структуры выполнены поисковые работы на золото (Алексеев, Сергеев, 2013) и научно-исследовательские изыскания Л.В. Кулешевич, В.Д. Слюсарева, А.В. Дмитриевой, А.С. Вихко и др. (Кулешевич и др., 2009; Вихко, 2014; Кулешевич, Дмитриева, 2015; Дмитриева и др., 2016). В итоге проведенных работ в пределах северо-восточной части структуры установлены новые участки перспективные на обнаружение золотого оруденения. Присутствие известных золоторудных объектов, высокая степень изученности и обнаружение новых точек проявления золоторудной минерализации определили выбор северо-восточной части Хаутаваарской структуры в качестве перспективного объекта для проведения детальных исследований.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение. *В северо-восточной части Хаутаваарской структуры наиболее перспективными для обнаружения золотого оруденения являются участки проявления геохимических аномалий Cu, Bi, W, As, Pb, Mo в пределах зон рассланцевания северо-западного и северо-восточного простирания в южном экзоконтакте Хаутаваарского массива и As, Pb, Mo в субмеридиональной зоне рассланцевания вдоль контакта с массивом Коруд.*

В геологическом строении площади принимают участие вулканогенно-осадочные породы виетукалампинской, лоухиваарской и калаярвинской свит хаутаваарской серии (~3,0-2,8 млрд лет) (рисунок 2). Базит-гипербазитовые интрузивные образования представлены дайковыми телами габбро-долеритов виетукалампинского (2914±9 млн лет (Носова и др., 2013)) и пироксенитов хюрсюльского комплекса. Гранитоидная формация представлена граносиенитами многофазного Хаутаваарского массива известково-щелочной серии (1 фаза – 2742±23 млн лет (Vibikova et al., 2005), 2 фаза - 2735±2 млн лет (Самсонов и др., 2011)), породы которого по геохимическим характеристикам соответствуют санукитоидной серии (Дмитриева, 2016), и плагио-плагиомикроклиновыми гранитами Шуйского комплекса (2,86 млрд лет).

В северо-восточной части Хаутаваарской структуры развиты зоны рассланцевания, маркирующие разрывные нарушения и межформационные контакты. Крупнейшая из таких зон расположена в области влияния Хаутаваарского массива и приурочена к эндо- и экзо- контактам дайки габбро-долеритов района оз. Раялампи. Её мощность составляет 50 м. Системы рассланцевания ориентированы по азимутам 310° и 70°, и сопровождаются объемным окварцеванием. В участках пересечения систем трещиноватости различной ориентировки развиваются маломощные кварцевые и карбонат-кварцевые с хлоритом прожилки, содержащие вкрапленность сульфидов. Система рассланцевания субмеридионального простирания проявлена в юго-восточной части площади, вдоль контакта пород калаярвинской свиты с гранитным массивом Коруд. Она сопровождается густой сетью кварцевых прожилков, мощностью до 50 мм, с редкой сульфидной вкрапленностью.

Присутствие минерализованных зон повышенной проницаемости и трещиноватости является одним из их определяющих поисковых признаков для золоторудных систем архейских зеленокаменных поясов (Ивашенко, Голубев, 2011; Groves et al. 1998, 2003). Также на исследуемой площади важным фактором контроля оруденения является присутствие в разрезе габбро-долеритов вьетукалампинского комплекса, обогащенных титаном и железом (TiO_2 (до 2,3%), суммарное содержание железа (12,9 – 19,8 мас.%), коэффициент железистости $f=100*(FeO+Fe_2O_3)/(FeO+Fe_2O_3+MgO)$ (78 - 88)). Наличие даек высокожелезистых пород основного состава обеспечивает возникновение контрастных физико-химических условий на контактах с породами кислого, среднего состава. Подобные условия благоприятны для возникновения барьера, способствующего осаждению рудных компонентов из флюида (Рундквист, 1978; Eilu, 1994).

Для выделения геохимических аномалий в северо-восточной части Хаутаваарской структуры, было изучено 100 штуфных проб коренных пород, отобранных в естественных обнажениях. Содержания элементов определялись портативным рентгенофлуоресцентным анализатором Innov-X Delta. Вследствие высокой погрешности и узкого диапазона измеряемых концентраций результаты рентгенофлуоресцентного анализа были заверены и дополнены данными прецизионных аналитических методов (атомно-эмиссионный анализ с индуктивно связанной плазмой (ICP - AES) и пробирно-атомно-абсорбционный анализ). Сопоставление результатов анализов по 30 пробам показало хорошую сходимость общего тренда распределения элементов-индикаторов (коэффициенты корреляции больше 0,9), что позволило использовать результаты экспрессного РФ-анализа для выявления первичных геохимических аномалий.

На основании полученных статистических характеристик и информации о геологическом строении площади в программе ArcGis были построены точечные карты распределения аномалий элементов в северо-восточной части Хаутаваарской структуры (рисунок 3). Аномальные значения Ti, V, Ni, Cr закономерно маркируют распространенные в осевой части Хаутаваарской структуры габбро-долеритовые (вьетукалампинский комплекс) и гипербазитовые (хюрсюльский комплекс) дайковые тела. Для габброидов северной части площади характерно преобладание аномалий Ti, центральной – V. Гипербазиты хюрсюльского комплекса относительно равномерно обогащены Ni и Cr. Повы-

шенные концентрации Au и Ag в породах северо-восточной части Хаутаваарской структуры сопровождаются аномальными содержаниями элементов-индикаторов золотого оруденения Bi, As, Mo, W, Pb, Zn, Cu. Наиболее крупная комплексная аномалия Cu, Bi, W, As, Pb, Mo, с содержанием Au до 5,58 г/т, приурочена к зонам расланцевания СЗ-СВ простирания в южном экзоконтакте Хаутаваарского массива. Вторая по степени интенсивности аномалия As, Mo, Pb приурочена к зоне расланцевания субмеридионального простирания, прослеженная вдоль контакта массива Коруд с породами калаярвинской свиты, к которой также приурочена точка с аномально высоким содержанием золота выявленная предшественниками (Сиваев и др., 1988).

Второе защищаемое положение. Выделено два типа золото-рудной минерализации: золото-висмут-халькопиритовая в зонах развития эпидот-пропилитовой гидротермально-метасоматической ассоциации; золото-серебро-полиметаллическая, приуроченная к зонам интенсивного проявления гидротермально-метасоматических ассоциаций карбонат-хлорит-кварцевого и карбонат-серицит-кварцевого состава.

Геологическая позиция северо-восточной части Хаутаваарской структуры (приуроченность к южному экзоконтакту Хаутаваарского массива и расположение в зоне влияния разрывных нарушений СЗ-СВ и субмеридионального направления) определила отличия сформировавшихся здесь метасоматитов от ассоциаций краевых частей Хаутаваарской структуры, описанных в работах предшественников (Сиваев и др., 1988; Горошко и др. 1998; Воинова, Астафьев, 1999). Исследование гидротермально-метасоматических ассоциаций построено на комплексном минералого-петрографическом изучении гидротермально-метасоматических образований посредством петрографического изучения прозрачных шлифов измененных и исходных горных пород по методике Е. В. Плющева, В. В. Шатова и др. (Плющев и др., 1981, 2008).

По минеральному составу и особенностям локализации в породах северо-восточной части Хаутаваарской структуры выделены кварц-калишпатовая (калишпатолиды), эпидот-пропилитовая, хлорит-пропилитовая, карбонат-хлорит-кварцевая, турмалинсодержащая карбонат-серицит-кварцевая и карбонат-тальковая (березит-лиственитовая) гидротермально-метасоматические ассоциации.

В северной части исследуемой площади преобладают эпидотовые пропилиты и калишпатолиды, в центральной - доминирует хлори-

товая пропилитовая ассоциация, для юго-востока площади характерно интенсивное развитие березитовой ассоциации (рисунок 4). Кварц-калишпатовая ассоциация относится к плутоногенной гидротермально-метасоматической формации, ее формирование вероятно связано со становлением Хаутаваарского массива. Эпидотовые пропилиты проявляют признаки как плутоногенной, так и тектоногенной формации, их пространственная связь с поздними фазами Хаутаваарского массива позволяет предположить принадлежность к плутоногенной формации. Более поздние, частично замещающие предшествующие ассоциации, карбонат-хлорит-кварцевые, турмалинсодержащие карбонат-серицит-кварцевые и карбонат-талковые метасоматиты относятся к тектоногенной гидротермально-метасоматической формации. Их областями питания являются глубинный разлом и оперяющие его зоны повышенной трещиноватости и проницаемости.

Для уточнения петрохимических характеристик метасоматических процессов были проанализированы составы гидротермально-метасоматически измененных пород, с использованием программы MassBalance 1.0 (Доливо-Добровольский, Бушмин, 2010).

Петрохимические особенности кварц-калишпатовых и эпидот-пропилитовых изменений характеризуются привнесением (в порядке возрастания) SiO_2 , FeO , K_2O , P_2O_5 , Ba , перераспределением и выносом MnO , CaO , Fe_2O_3 и V (рисунок 5.1). Такое распределение элементов согласуется с минеральным составом новообразованной ассоциации – биотит – клиноцоизит – кварц – калиевый полевой шпат, сульфиды.

При оценке особенностей карбонат-хлорит-кварцевых изменений обнаруживается относительное обогащение пород P_2O_5 , CaO , V , MgO , K_2O , FeO и обеднение MnO , Ba , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и Na_2O (рисунок 5.2). Такое распределение элементов отвечает доминирующей роли хлорита и карбоната в новообразованной ассоциации, и распространению сульфидной вкрапленности.

Породы, подвергшиеся интенсивным карбонат-серицит-кварцевым изменениям, в сравнении с протолитом, обогащены K_2O , Al_2O_3 и P_2O_5 , входящими в первую очередь в состав мусковита и апатита. Они относительно обеднены CaO , Na_2O , MgO и MnO , что отражает замещение минералов ранних ассоциаций - эпидота и хлорита. Породы юго-восточной части площади, находящиеся в пределах зоны расщепления вдоль контакта с гранитным массивом Коруд обогащены FeO и

Fe₂O₃, что соответствует их обогащению сульфидами Fe, в сравнении с измененными вулканитами северной части площади (рисунок 5.3).

Для габбро и гипербазитов, обогащенных сульфидами, характерно существенное преобладание FeO над Fe₂O₃, а также вынос V, вероятно содержащегося в титаномагнетите слабо измененных габброидов. Для всех типов пород исследуемой площади, находящихся в пределах зон рассланцевания, свойственно обогащение P₂O₅ и Ba вероятно связанное с поздними гидротермальными процессами.

Первичная вкрапленность пирита и халькопирита в лопийских вулканогенно-осадочных толщах, титаномагнетита - в габбро-долеритах виетукалампинского комплекса и хромита в гипербазитах хюрсюльского комплекса относительно равномерно распространена в породах площади. Характер распределения рудных минералов, наложенных на сингенетичную минерализацию, в породах вулканогенно-осадочных толщ и интрузивных комплексов позволяет выделить 4 рудно-минеральные ассоциации: шеелит-молибденит-пиритовая, пирротин-халькопиритовая с минералами системы Au-Te-Bi, полиметаллическая с минералами системы Au-Ag-Te (Se) и PЗЭ-баритовая ассоциации.

Шеелит-молибденит-пиритовая ассоциация (рисунок 6 а, б) спорадически распространена в породах зон рассланцевания, в участках развития ожелезненных кварцевых прожилков, отмечена во всех типах пород исследуемой площади. *Пирит* преобладает в измененных породах вулканогенно-осадочных толщ, *шеелитовая* минерализация формируется в породах северной части площади, в измененных габбро-долеритах, в экзоконтакте Хаутаваарского массива. *Молибденит* присутствует в породах ядерных частей зон рассланцевания всей площади.

Пирротин-халькопиритовая ассоциация с минералами системы Au-Te-Bi. Прожилковая, гнездовая вкрапленность *пирротина* и *халькопирита* развивается в породах, подвергшихся эпидотовой пропилитизации, содержание пирротина и халькопирита в них достигает 5% (рисунок 6 с, d). В северной части площади габбро-долериты виетукалампинского комплекса, превращенные в роговообманково-биотит-эпидот-калишпат-кварцевые сланцы, содержат рассеянную *золото-теллур-висмутовую* минерализацию.

Висмутин представлен короткопризматическими и ксеноморфными кристаллами, замещающими реликтовые трещиноватые зерна пирита, реже халькопирита или образующими самостоятельную вкрапленность. *Самородный висмут* образует ксеноморфные зерна размером

до 20 мкм, микрозернистые включения и каймы в *висмутине* и *хедлейите* (рисунок 6 е, f, g). *Самородное золото* образует зерна изометрической, полигональной, уплощенной, округлой формы (рисунок 6 е, f), величина по длинной оси - до 90 мкм (в среднем – 20 мкм), с неравномерно меняющейся зазубренностью, крючковатыми загибами, также отмечены единичные идиоморфные кристаллы размером не более 10 мкм (рисунок 6 h). *Мальдонит* представлен чешуйчатыми зернами и плёнками с рыжевато-бурой побежалостью, размером до 50 мкм. Проба золота варьирует от 893‰ до 975‰ в среднем – 949‰ (таблица 1, рисунок 7), наблюдается уменьшение количества примеси Ag в краевых участках зёрен, вероятно связанное с процессами переотложения более высокопробного Au.

Полиметаллическая ассоциация с минералами системы Au-Ag-Te (Se). В породах вулканогенно-осадочных толщ и базит-гипербазитовых комплексов, подвергшихся хлоритовой пропилитизации формируется полиметаллическая вкрапленность, представленная *сфалеритом*, *галенитом*, *пентландитом*, *кобальтином*, *арсенопиритом*, *антимонитом* (до 2%) (рисунок 8 а, b, c, рисунок 9). Рассеянная благороднометаллическая минерализация приурочена к участкам объемного окварцевания и маломощным карбонат-кварцевым, хлорит-кварцевым прожилкам СЗ-СВ простирания, формирующимся в переходных условиях между хлоритовыми пропилитами и березитами (карбонат-хлорит-кварцевые изменения).

В сфалерите установлена субмикронная вкрапленность *науманнита* (Ag_2Se) (рисунок 8 d) и *гессита* (Ag_2Te). В ассоциации с пирротинном, в габброидах вьетукалампинского комплекса установлен *штютцит* (Ag_5Te_3). В виде включения в пирротине измененных габбро-долеритов, установлен *аргентопентландит* (Ag – 13,2%), с включением *электрума* (рисунок 8 е). Содержание Ag в электруме - 32,35%. *Акантит* зафиксирован в породах вьетукалампинской свиты, минерал развивается по кальциту и сидериту, представлен удлиненными игольчатыми зернами, размер которых не превышает 10 мкм.

РЗЭ-баритовая ассоциация. В породах, подвергшихся интенсивному расщеплению, развивается поздняя РЗЭ и *баритовая* минерализация (рисунок 8 g, h). Установлена Ce и La разновидности *алланита*, содержащие также значительную примесь Pr, Nd и Sm. Морфология кристаллов указывает на гидротермальное происхождение минералов поздней стадии.

Золото-висмут-халькопиритовая минерализация формируется в породах южного экзоконтакта Хаутаваарского массива, подвергшихся эпидотовой пропилитизации. Высокопробное золото ассоциирует с минералами висмута и теллура, халькопиритом, в меньшей степени пиритом и молибденитом. Золото-серебро-полиметаллическая вкрапленность формируется в зонах расщепления всей площади, в узлах пересечения систем трещин 310° и 70° , и сопровождается карбонат-хлорит-кварцевыми изменениями. Благороднометаллическая минерализация представлена аргентопентландитом, гесситом, штюцитом, науманнитом, акантитом, электрумом и ассоциирует с галенитом, сфалеритом, пентландитом и кобальтином.

Третье защищаемое положение: *Особенности формирования и размещения золотого оруденения в северо-восточной части Хаутаваарской структуры определяются его генетической связью с дифференцированным санукитоидным массивом, структурной связью с субмеридиональной и диагональной системами рудоконтролирующих разломов и областью развития даек базит-гипербазитового состава.*

Присутствие минералов висмута, теллура, мышьяка в ассоциации с золотом позволяет оценить физико-химические условия образования минерализации (рисунок 10, 11). Вероятно, формирование золотого оруденения в северо-восточной части Хаутаваарской структуры происходило многоактно в средах, отличающихся окислительно-восстановительными условиями и температурами: золото-висмут-халькопиритовая ассоциация образовывалась при температурах $> 250^\circ\text{C}$ в восстановительных условиях; образование минералов золото-серебро-полиметаллической ассоциации протекало в широком температурном диапазоне: от $\sim 375^\circ\text{C}$ до $< 145^\circ\text{C}$, в кислой среде, при высокой фугтивности теллура.

Отличия составов, первичных геохимических аномалий, рудомещающих гидротермально-метасоматических ассоциаций и условий формирования золотого оруденения северо-восточной части Хаутаваарской структуры, позволяет предположить наличие оруденения 2-х (или более) генетических типов.

Для построения геолого-генетической модели формирования золотого оруденения, установленные характеристики оруденения северо-восточной части Хаутаваарской структуры сравнивались с аналогичными параметрами известных золоторудных объектов архейских

зеленокаменных поясов Карельского кратона. Были выбраны золоторудные объекты различных типов, геолого-генетическая принадлежность которых определена предшественниками (Иващенко, Голубев, 2011). Результаты сравнения приведены в таблице 2.

Золото-серебро-полиметаллическое оруденение северо-восточной части Хаутаваарской структуры сопоставимо с оруденением золоторудных объектов орогенного типа (Новые Пески, Хатуноя). Их объединяет схожесть рудоконтролирующих структур, состава первичных геохимических аномалий, рудовмещающих метасоматических комплексов, рудно-минеральных ассоциаций и характеристик самородного золота. Это позволяет отнести золото-серебро-полиметаллическую минерализацию северо-восточной части Хаутаваарского района к золото-содержащим объектам орогенного геолого-генетического типа.

Золото-висмут-халькопиритовое оруденение в южном экзоконтакте Хаутаваарского массива обнаруживает сходство с оруденением известных порфировых объектов Карелии: в характеристиках структур, контролирующих оруденение; составе вмещающих пород; направленности гидротермально-метасоматических изменений; составе первичных геохимических аномалий и рудно-минеральных ассоциаций. По составу рудно-минеральной ассоциации, условиям формирования и соотношению Fe_2O_3/FeO в породах Хаутаваарского массива (рисунок 12), золото-висмут-халькопиритовая минерализация исследуемой площади соответствует генетическому типу месторождений, связанных с интрузивами, формирующихся на больших глубинах, чем объекты порфирового типа.

Анализ работ предшественников, изучение геологического строения северо-восточной части Хаутаваарского района, минералогопетрографических особенностей гидротермально-метасоматических образований, состава рудно-минеральных ассоциаций и геологоструктурных условий локализации золотого оруденения позволили создать генетическую модель золотого оруденения.

Вулканогенно-осадочные толщи хаутаваарской серии содержали первичную рассеянную вкрапленность пирита и халькопирита, габбро-долериты виетукалампинского комплекса, гипербазиты хюрсюльского комплекса были обогащены титаномагнетитом и хромитом соответственно. Последующие этапы архейской и протерозойской орогении способствовали перераспределению и концентрации рудного вещества в породах площади. Становление ранней фазы Хаутаваарского массива,

не содержащей существенных концентраций рудных компонентов, в северной части участка, возможно, сопровождалось формированием кварц-калишпатовых метасоматитов с вкрапленностью пирита, молибденита и шеелита. Данная стадия может быть отнесена к рудоподготовительной. Формирование эпидотовых пропилитов, сопровождавшихся пирротин-халькопиритовой минерализацией, вероятно началось одновременно с внедрением поздних фаз Хаутаваарского массива, обогащенных рудным веществом. Золото-висмут-халькопиритовая минерализация, сопоставимая с оруденением месторождений, связанных с интрузивами, формировалась в приконтактных частях дайки габбро-долеритов (район оз. Раялампи), подвергшихся наиболее интенсивным изменениям в южном экзоконтакте Хаутаваарского массива.

Хлоритовые пропилиты и березиты, формирование которых сопровождалось полиметаллической минерализацией, наложенной на предшествующие минеральные парагенезисы, приурочены к системам расланцевания подновленным в архейскую (2,6 млрд лет (Светов и др., 2016)) или (и) раннепротерозойскую (1,7 млрд лет (Самсонов и др., 2011)) орогеническую эпоху. Золото-серебро-полиметаллическая минерализация, сопоставимая с оруденением месторождений орогенного типа, накладывалась на предшествующие рудно-минеральные парагенезисы в узлах пересечения разноориентированных систем трещин и зонах развития ветвящихся систем кварцевых прожилков.

Месторождения, которые сформировались в результате наложения оруденения орогенного типа на типично-порфировое, -связанное с интрузивами или колчеданное оруденение, выделены D.I. Groves (Groves et al., 2003) в отдельную группу - месторождений с атипичными минеральными ассоциациями. Учитывая данные приведенные выше золото-висмут-халькопиритовое оруденение в южном экзоконтакте Хаутаваарского массива следует отнести к группе золоторудных объектов с атипичной минеральной ассоциацией.

Таким образом, определяющую роль в формировании базового оруденения, связанного с интрузивами, играл Хаутаваарский санукитоидный массив. На орогенном этапе главными факторами, контроля оруденения являлись: 1 – субмеридиональная система разломов и оперяющие её нарушения северо-западного, северо-восточного простирания: 2 – контактовые зоны интрузивных тел основного-ультраосновного состава, в пределах которых создавались наиболее контрастные физико-химические условия благоприятные для возникно-

вения барьера, способствующего осаждению рудных компонентов из флюида.

Золото-серебро-полиметаллическое оруденение орогенного типа северо-восточной части Хаутаваарской структуры соответствует классической и многократно описанной (Иващенко, Голубев, 2011; Eilu, 1994; Groves et al., 2003) модели подобных месторождений и проявлений золота в архейских зеленокаменных поясах и не требует разработки специального комплекса поисковых признаков, в дополнение к существующим.

Оруденение с атипичной минеральной ассоциацией впервые выделено в пределах Хаутаваарской структуры. Соответствующий ему комплекс поисковых признаков и предпосылок золотого оруденения представлен в таблице 3.

Таблица 3 - Поисковые признаки и предпосылки золотого оруденения с атипичной минеральной ассоциацией северо-восточной части Хаутаваарской структуры

Поисковые признаки и предпосылки	
1 Формационно-минералогические	
1.1 Продуктивная формация	Многофазный гранитоидный Хаутаваарский массив известково-щелочной серии и сопровождающие его мелкие дайковые тела пород среднего и кислого состава AR ₂ L Габбро-долериты, (гипербазиты ?) AR ₂ L
1.2 Рудовмещающие формации	
2 Структурно-литологические	
Контактные части даек габбро-долеритов, подвергшиеся интенсивной гидротермально-метасоматической переработке в экзоконтакте гранитоидного массива	
3 Структурные	
3.1 Рудоносные структуры	Зоны расщепления, северо-западного простирания, ориентированные вдоль контакта гранитоидного массива Глубинные разломы субмеридионального простирания и оперяющие их сдвиговые и сбросо-сдвиговые нарушения
3.2 Рудоконтролирующие структуры	
4 Метасоматические	
Совмещение в пространстве разновозрастных эпигенетических минеральных ассоциаций. Ранние: кварц-калишпатовые, эпидот-пропилитовые ассоциации, образующие зональные ореолы; поздние: карбонат-хлорит-кварцевые, турмалинсодержащие карбонат-серицит-кварцевые и карбонат-талльковые ассоциации	

5 Минералогические	
5.2 Типоморфные минералы руд	Кварц, биотит, эпидот, калиевый полевой шпат, хлорит, в малых количествах – барит, алланит, минералы-REE; пирротин, халькопирит, пирит, висмутин, самородный висмут, хедлейит, мальдонит, самородное золото.
5.3 Типоморфизм золота	Зерна изометрической, полигональной, уплощенной, округлой формы, величина по длинной оси - до 90 мкм (в среднем - 20 мкм), с неравномерно меняющейся зазубренностью, крючковатыми загибами реже единичные идиоморфные кристаллы размером не более 10 мкм. от 893‰ до 975‰ в среднем – 949‰
5.3.1 Морфология выделений	
5.3.2 Преобладающая проба	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определяющая особенность золотого оруденения северо-восточной части Хаутаваарской структуры – неоднородность геологических структур, контролирующих оруденение, гидротермально-метасоматических и рудно-минеральных ассоциаций, обусловленная его полигенной природой. Эта особенность явилась благоприятным фактором для формирования золотого оруденения.

Основные результаты, имеющие практическую значимость:

1. Установлены первичные геохимические аномалии Cu, Bi, W, As, Pb, Mo – элементов-спутников золотого оруденения в северо-восточной части Хаутаваарской структуры. Полученные данные могут быть использованы при проведении детальных поисковых геохимических работ.

2. Выделены типы гидротермально-метасоматических изменений, проявленных в породах исследуемой площади, составлены схемы их распространения и определен состав ассоциирующих с ними рудно-минеральных ассоциаций. Показана эффективность картирования гидротермально-метасоматических образований для определения потенциально рудоносных участков.

3. Установлена связь химического состава габбро-долеритов виетукалампинского комплекса с содержанием в них золота – габброиды с повышенным содержанием золота обогащены закисным железом, по сравнению с окисным, а также обеднены ванадием.

4. В северо-восточной части Хаутаваарской структуры выделено золотое оруденение с атипичной минеральной ассоциацией и определен соответствующий ему комплекс поисковых признаков и предпосылок, который может быть использован при проектировании геолого-разведочных работ в Хаутаваарской структуре и других архейских зеленокаменных поясах центральной части Карельского кратона.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Гордон Ф.А. Гидротермально-метасоматические ассоциации и рудоносность северо-восточной части Хаутаваарской структуры (Южная Карелия) / Ф.А. Гордон // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. - 2016. - №3. – С. 9-19.**
2. **Гордон Ф.А. «Минеральные типы зон метасоматических изменений северо-восточной части Хаутаваарской структуры (Южная Карелия)» / Ф.А. Гордон // Естественные и технические науки. - 2016 г. - №12. – С. 98-103.**
3. Гордон Ф.А., Алексеев И.А. Геохимическая характеристика вторичных ореолов рассеяния и минералого-петрографические особенности пород северо-восточной части Хаутаваарского рудного поля (Южная Карелия) /Ф.А. Гордон, И.А. Алексеев // Материалы V Российской молодежной научно-практической школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ. - 2015. – С. 55-56.
4. Гордон Ф.А., Евдокимов А.Н. Минералого-петрографические особенности метаморфизованных и метасоматически измененных пород северо-восточной части Хаутаваарской структуры (Южная Карелия) / Ф.А. Гордон, А.Н. Евдокимов // Материалы VI Российской молодежной научно-практической школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ. – 2016. – С. 81-82.



Рисунок 1 - Схема геологического строения Хаутаваарской зеленокаменной структуры (Серноколчеданье..., 1978): 1 – граниты-рапакиви PR; 2 – граниты, гранодиориты, диориты, граносиениты AR₂L, в том числе Хаутаваарский комплекс AR₂ht ; 3 – габбро-долериты, габбро-амфиболиты, феррогаббро AR₂v; 4 – гипербазиты хюрсюльского комплекса AR₂h; 5 – усмисаньярвинская свита AR₂us; 6 – кульонская свита AR₂kn; 7 – калаярвинская свита AR₂ka; 8 – лоухиваарская свита AR₂lh; 9 – виетукалампинская свита AR₂vt; 10 – гранитоиды Шуйского комплекса AR₂s; 11 – эруптивные центры андезитового вулканизма; 12 – разрывные нарушения; 13 – площадь детальных исследований.

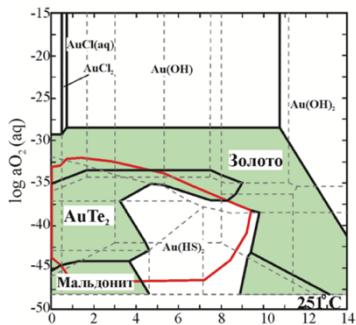
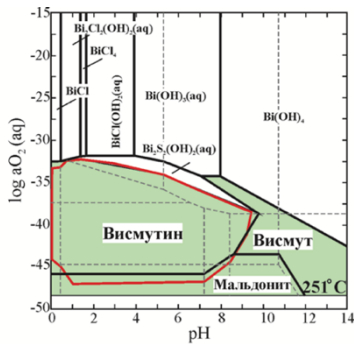
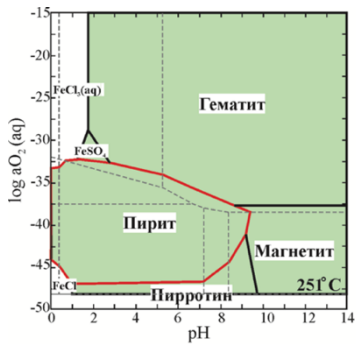


Рисунок 10 - Диаграммы в координатах активности кислорода ($\log aO_2(aq)$) / активность ионов водорода (pH) в водном растворе, при температурах выше 251°C, иллюстрирующие совпадение полей стабильности минералов системы Au-Bi-Te и сульфидов-оксидов Fe по (Cook et al., 2009).

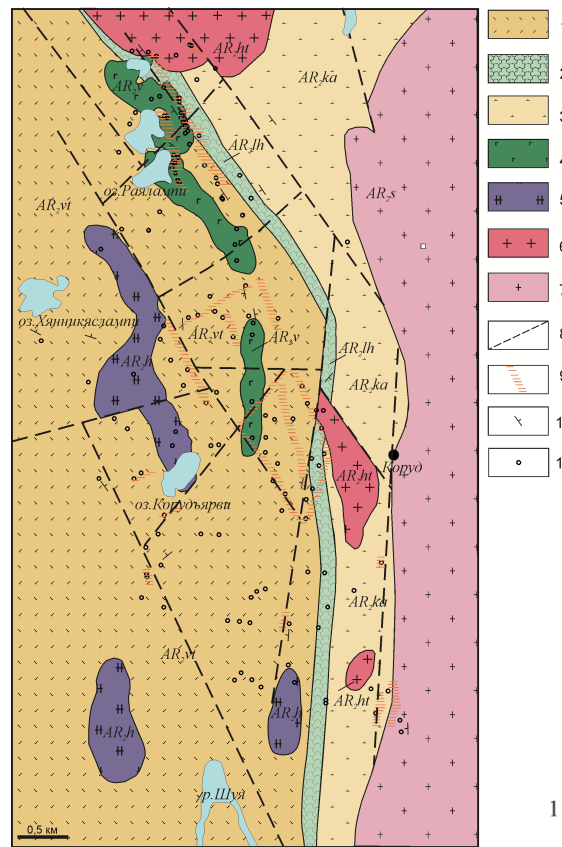


Рисунок 2 - Схема геологического строения северо-восточной части Хаутаваарской структуры (составлена с учетом данных полевых наблюдений и петрографических исследований по (Сиваев и др., 1988; Горошко и др., 1998; Кулешевич и др., 2009; Светов, 2009): 1-3 лопийские вулканогенно-осадочные толщи хаутаваарской серии: 1 – виетукалампинская свита AR₂vt, 2 – лоухиваарская свита AR₂lh, 3 – калаярвинская свита AR₂ka; 4-7 интрузивные комплексы: 4 – феррогаббро AR₂v (виетукалампинский), 5 – ультрабазиты AR₂h (хюрсюльский), 6 – граносиениты (санукитоиды) AR₂ht (Хаутаваарский), 7 – граниты, гранитоиды AR₂s (Шуйский); 8 – разломы, 9 – зоны рассланцевания, 10 – элементы залегания, 11 – точки опробования коренных выходов горных пород.

Рисунок 12 - Классификационная диаграмма для восстановленных и окисленных интрузивных пород по (Blevin, 2004) с фигуративными точками гранитоидов Хаутаваарского (Дмитриева, 2016), Ялонварского (Ивашенко, Лавров, 1996; Ивашенко и др. 2017) и Лобашского массивов (Кулешевич и др., 2004; Тытык, Фролов, 2014). Интрузивные породы разделены на «восстановленные» и «окисленные» по характеристикам окислительно-восстановительного режима их формирования (Ishihara, 1981; Hart, 2005)

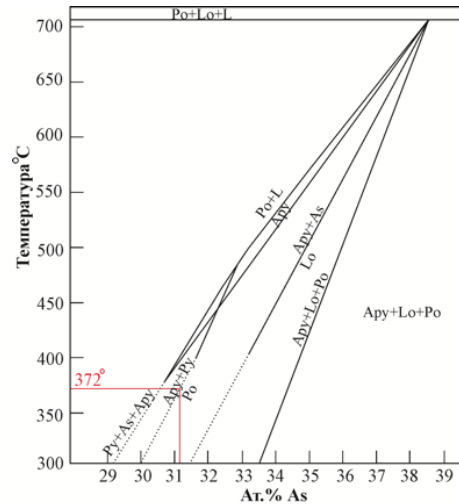
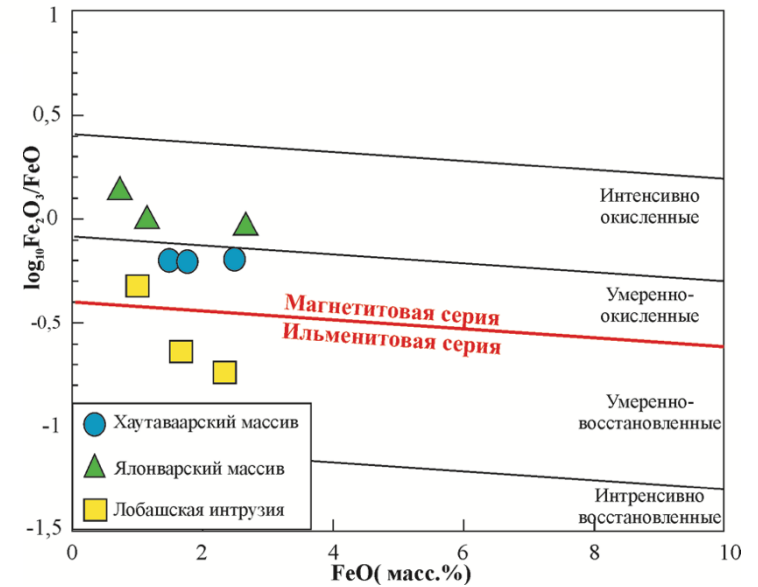


Рисунок 11 - Зависимость состава арсенирита от температуры формирования и минеральной ассоциации по (Kretschmar, 1973, Scott, 1976)



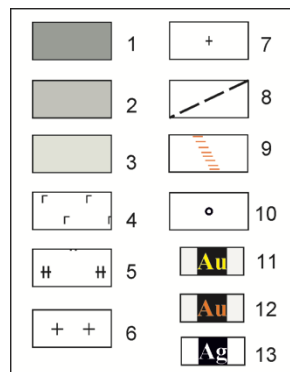
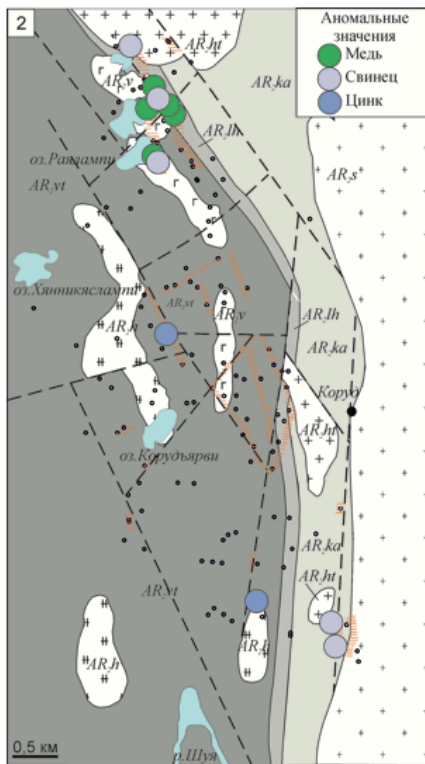
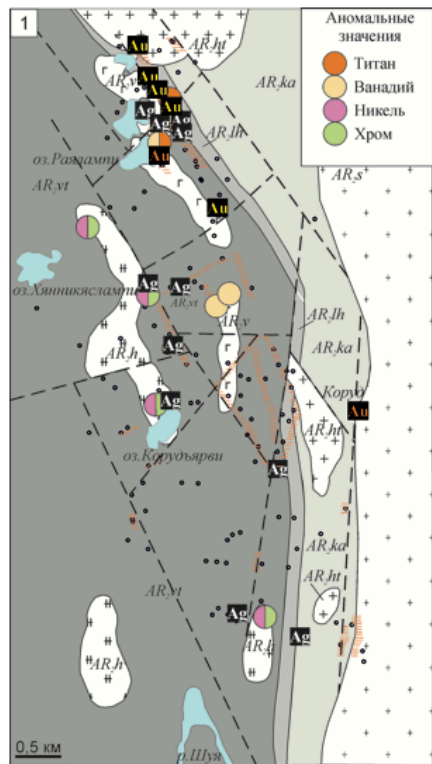


Рисунок 3 - Точечные карты распределения аномалий в породах северо-восточной части Хаутаваарской структуры (1 – Ti, V, Ni, Cr; 2 – Cu, Pb, Zn; 3 – As, Bi; 4 – Mo, W); 1 – виеукалампинская свита AR₂vt, 2 – лоухиваарская свита AR₂lh, 3 – каляярвинская свита AR₂ka; 4-7 интрузивные комплексы: 4 – габбро-долериты (виеукалампинский), 5 – ультрабазиты (хюрсюльский), 6 – граносиениты (санукитоиды, Хаутаваарский), 7 – граниты, гранитогнейсы (Шуйский); 8 – разломы, 9 – зоны расланцевания, 10 – точки опробования коренных выходов горных пород; 11 – точки с содержанием золота >0,02 г/т; 12 – точки с повышенным содержанием золота по данным (Сиваев, 1988, ООО «Карельская Рудная Компания»); 13 – точки с содержанием серебра > 0,2 г/т.

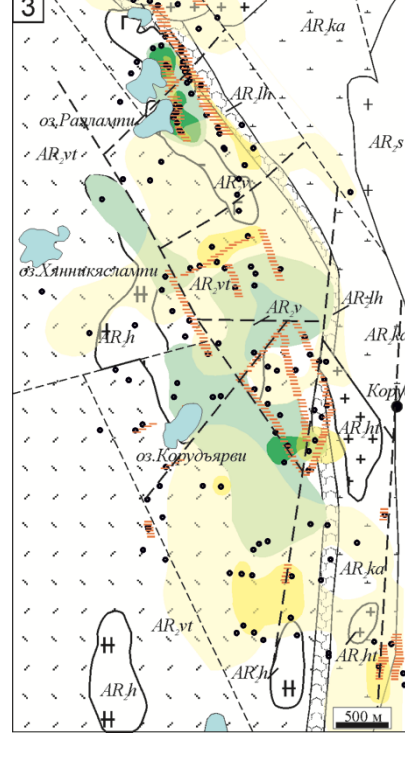
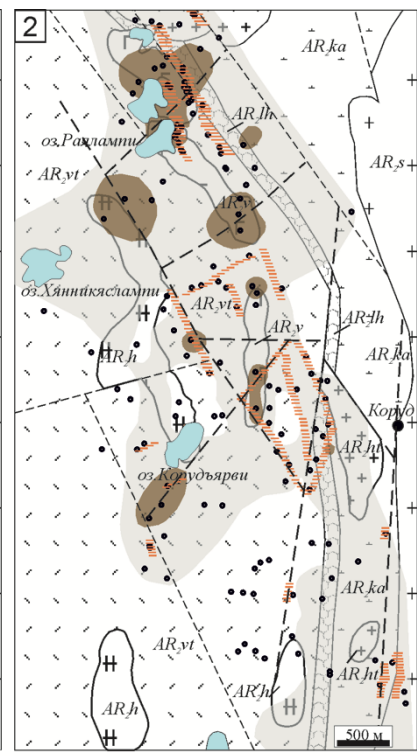
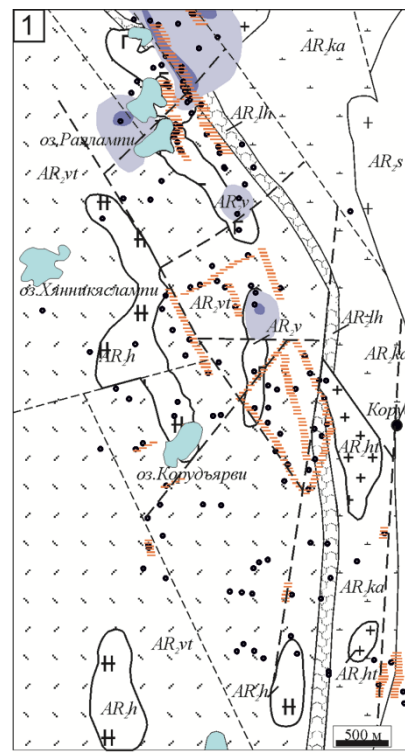
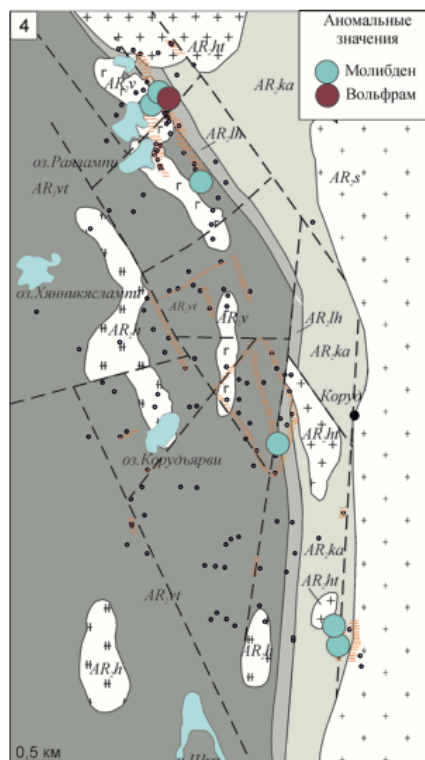
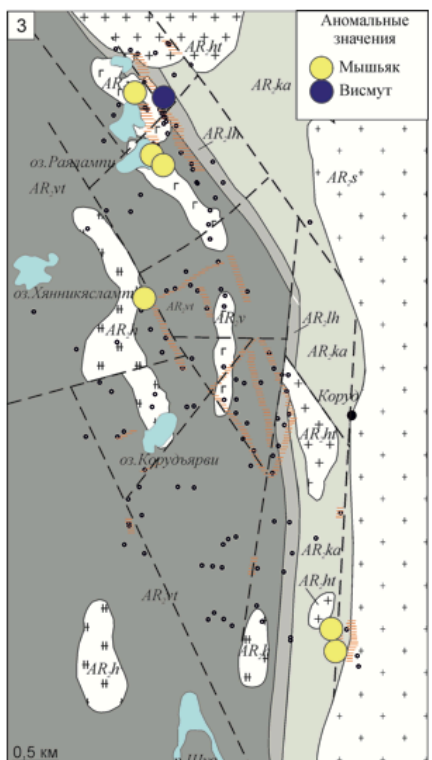


Рисунок 4 - Схема проявления гидротермально-метасоматических ассоциаций северо-восточной части Хаутаваарской структуры. Ореолы распространения: 1 – кварц-кальциевая ассоциация, 2 – эпидот-пропилитовая ассоциация, 3 – хлорит-пропилитовая, карбонат-хлорит-кварцевая, турмалинсодержащей карбонат-серпичит-кварцевой и карбонат-тальковой ассоциаций; 4 – 10 – см. рисунок 4; 11 – кварц-кальциевая ассоциация (а-слабоумеренно проявленная (<50% новообразований), б – интенсивно проявленная (>50% новообразований)); 12 – эпидот-пропилитовая ассоциация (анол.11), 13: а – хлорит-пропилитовая ассоциация, б – карбонат-хлорит-кварцевая ассоциация; 14 – турмалинсодержащая карбонат-серпичит-кварцевая и карбонат-тальковая ассоциация (анол.11).

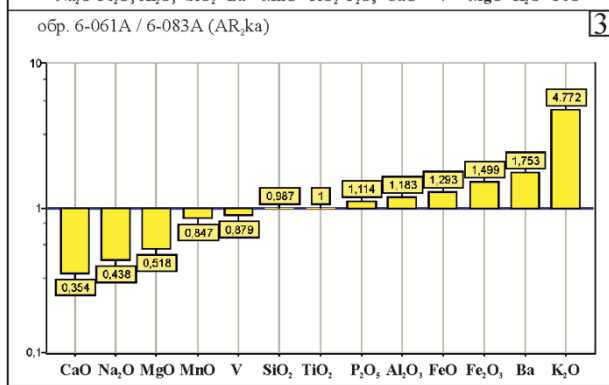
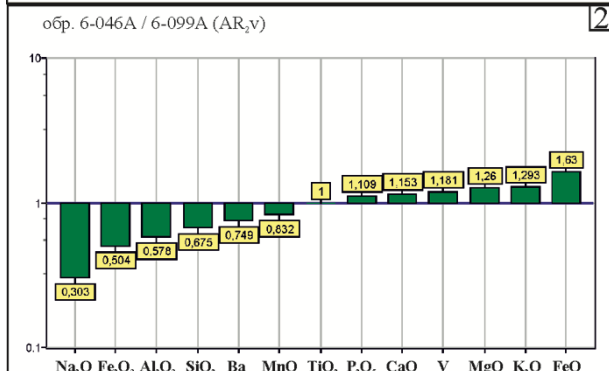
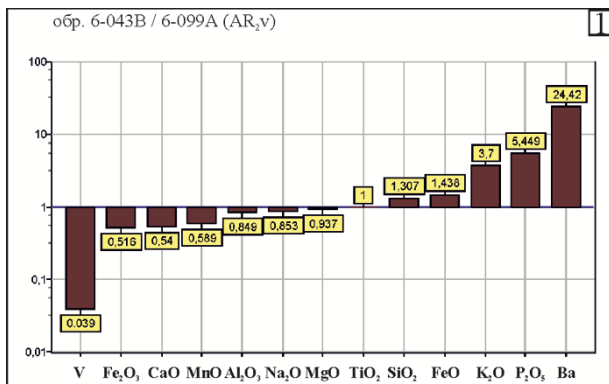


Рисунок 5 – Отношения компонентов гидротермально-метасоматически измененных пород к компонентам протолитов (нормированные по инертному компоненту TiO₂). Гистограммы характеризуют особенности привноса-выноса химических элементов в ходе формирования: 1 – кварц-каллишпатовых и эпидот-пропилитовых метасоматитов; 2 – карбонат-хлорит-кварцевых метасоматитов; 3 – карбонат-серицит-кварцевых турмалиносодержащих метасоматитов.

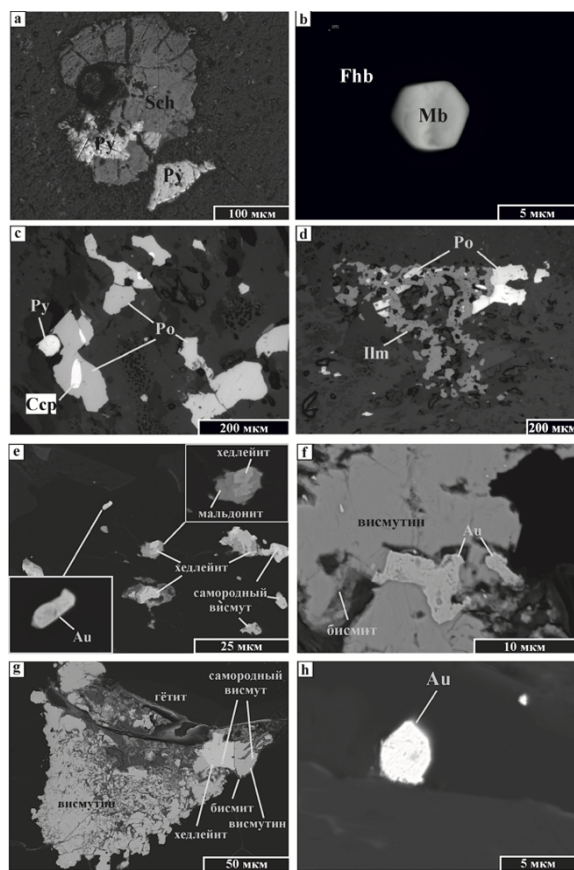
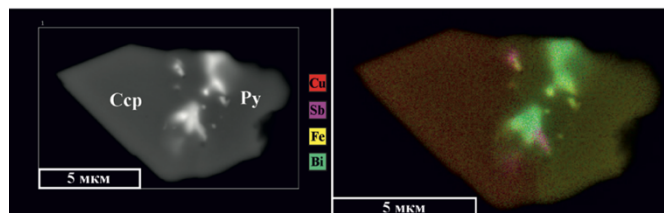


Рисунок 6 - Рудные минералы шеелит-молибденит-пиритовой и пирротин-халькопиритовой с минералами системы Au-Te-Bi ассоциаций (а, с, d – изображение в отраженном свете, b, e, f - BSE-изображения): а – округлый кристалл шеелита (Sch) с пиритом (Py), b – полигональное зерно молибденита (Mb) в железистой роговой обманке (Fhb), с - пирит (Py) с поздними пирротинном (Po) и халькопиритом (Cpy), d - замещение ильменита (Ilm) пирротинном, e - микрозернистая вкрапленность минералов золото-теллуридно-висмутовой ассоциации, f – полигональные пластинки и чешуйки самородного золота в висмутине, g – бисмит, развивающийся по висмутину, микрозернистые включения самородного висмута в висмутине и хедлейите, h – идиоморфный кристалл золота.



Образец	Au	Ag	Σ	
1	6-087A	97,48	2,52	100
2	6-087A	97,35	2,65	100
3	6-087A	100,00	0,00	100
4	6-087A	99,80	0,20	100
5	6-087B	97,45	2,55	100
6	6-087B	96,63	3,37	100
7	6-087B	89,89	10,11	100
8	6-087B	92,33	7,67	100
9	6-087B	94,81	5,19	100
10	6-087B	91,65	8,35	100
11	6-087B	95,20	4,80	100
12	6-042A	91,15	8,85	100
13	6-042A	96,12	3,88	100
14	6-043B	94,87	5,13	100
15	6-043B	93,97	6,03	100
16	6-043B	91,01	8,99	100
17	6-043B	96,76	3,24	100
18	6-043B	96,42	3,58	100
19	6-043B	95,56	4,44	100
20	6-098A	95,00	4,00	100
21	6-098A	93,16	6,84	100
22	6-098A	93,60	6,40	100
23	6-098A	94,54	5,46	100
24	6-098A	94,08	5,92	100
25	6-098A	95,97	4,03	100
26	6-097A	93,13	6,87	100
27	6-097A	93,71	6,29	100
28	6-097A	94,88	5,12	100
29	6-097A	95,01	4,99	100
30	6-097A	94,23	5,77	100

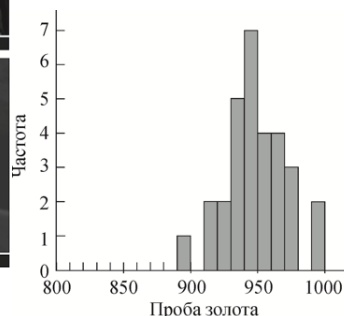


Рисунок 7 - Гистограмма распределения пробы золота, n=30.

Таблица 1 - Результаты определения пробы золота (по данным микрозондового анализа, мас.%, сумма приведена к 100%).

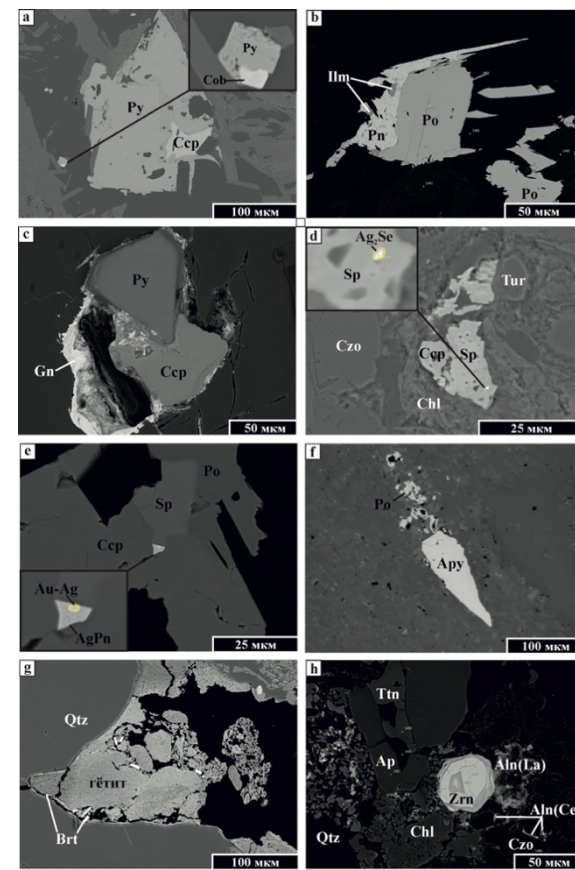


Рисунок 8 - Рудные минералы полиметаллической с минералами системы Au-Ag-Te (Se) и PZЭ-баритовой ассоциаций (a-h - BSE-изображения): а – замещение пирита (Py), кобальтином (Cob) и халькопиритом (Ccp) в метавулканите вьетукалампинской свиты, b – Замещение пирротина (Po), пентландитом (Pn) в метапироксените хюрсюльского комплекса, с – замещение идиоморфного кристалла пирита, халькопиритом и галенитом (Gn), габбро-долерит вьетукалампинского комплекса, d – зерно науманнита в сфалерите (Sp), метавулканит вьетукалампинской свиты, e – вкрапленность электрума в аргентопентландите, метавулканит вьетукалампинской свиты, f – арсенипиритовая вкрапленность в висмутине, g , h – баритовая и алланитовая минерализация в габбро-долерите вьетукалампинского комплекса (g) и метавулканите вьетукалампинской свиты (h).

Рисунок 9 - Карта распределения химических элементов в сульфидном зерне, габбро-долерит вьетукалампинского комплекса

Таблица 2 - Сравнительная характеристика золотого оруденения орогенного и порфирирового типов зеленокаменных поясов центральной части Карельского кратона (с использованием данных (Иващенко, Лавров, 1996; Иващенко и др., 2007; Иващенко, Голубев, 2011; Кулешевич и др., 2004; Кулешевич и др., 2014; Кулешевич, Дмитриева, 2015; Дмитриева, 2016; Минерально..., 2005; Стифеева, 2014; Тытык, Фролов, 2014; Шарль, 2002)).

Критерий сравнения	Золото-сульфидное проявление Новые Пески (орогенный тип)	Золото-полисульфидное проявление Хатуноя (орогенный тип)	Mo-Cu-W-Au-порфирировое проявление Ялонвара	Медно-молибден-порфирировое месторождение Лобаш-1	Au-Bi-Cu оруденение северо-восточной части Хаутаваарской структуры – район оз. Раялампи	Au-Ag-полиметаллическое оруденение северо-восточной части Хаутаваарской структуры
Рудовмещающие формации	Метаморфизованные андезитовые вулканы, сланцы среднего состава, амфиболиты и габброиды лопийского возраста AR ₂ L	Метаморфизованные андезиты, базальты, агломеративные туфы, лавобрекчии лопийского возраста AR ₂ L	Диориты первой фазы Ялонварской интрузии лопийского возраста AR ₂ L	Габбро-долериты, сланцы, амфиболиты и плагиопорфиры лопийского возраста AR ₂ L	Габбро-долериты вистукалампинского комплекса AR ₂ L	Метаморфизованные андезиты, дациты, хлорит-серцитовые сланцы, дайковые тела гипербазитов и габбро-долеритов лопийского возраста AR ₂ L
Ассоциирующие магматические комплексы гранитоидной формации	Комплекс малых посторогенных интрузий пегматитов и калиевых гранитов Виртаоя AR ₂ L	Многофазный гранитоидный Ялонварский массив известково-щелочной серии, сопровождающийся порфирированными и субвулканическими фациями магматитов AR ₂ L	Лобашская интрузия, биотитовых порфиридных гранитов и сопряженные с ней малые дайково-жильные тела лейкократовых порфиридных плагиогранитов AR ₂ L		Многофазный гранитоидный Хаутаваарский массив, известково-щелочной серии и сопровождающие его мелкие дайковые тела плагиогранит-порфириров AR ₂ L	
Структурно-литологический контроль	Прожилково-вкрапленные зоны скарноидов, участки развития пятнистых, полосчатых гранатовых и эпидотовых амфиболитов, маркирующих рудоконтролирующие зоны расланцевания	Рассланцованные толщи вулканогенно-осадочных пород с выдержанными горизонтами агломеративных туфов и лавобрекчий	Участки распространения в диоритах дайково-жильной фации кислого состава	Зоны локального трещинообразования в породах кровли над куполовидными апофизами гранитоидов	Контактные части даек габбро-долеритов, подвергшиеся интенсивной гидротермально-метасоматической переработке в экзоконтакте гранитоидного массива	Межформационные швы, контактовые зоны резко контрастных по кремнекислотности интрузивных и вулканических пород
Рудоконтролирующие структуры	Зоны расланцевания субмеридионального и северо-восточного простирания	Сдвиговые зоны северо-западного-субмеридионального простирания	Зоны трещиноватости и катаклаза в гранитоидах северо-восточного простирания	Глубинный разлом субмеридионального простирания и оперяющие его поперечные нарушения	Зона расланцевания северо-западного простирания в южном экзоконтакте Хаутаваарского массива	Зоны расланцевания северо-западного, субмеридионального, северо-восточного простирания в пределах глубинного разлома
Фация регионального метаморфизма	Амфиболитовая	Эпидот-амфиболитовая	Эпидот-амфиболитовая	Эпидот-амфиболитовая	Эпидот-амфиболитовая	Эпидот-амфиболитовая
Характер метасоматических изменений	Магнезиально-железистый, кремне-кислотный. Скарноиды, актинолит-хлорит-кварц-эпидотовые метасоматиты	Кремне-кислотный. Пирит-кварц-серцитовые, серцит-кварцевые с турмалином и хлоритом метасоматиты	Калиевый, магнезиально-железистый, кремне-кислотный. Ранние: эпидот-биотитовые, поздние: пропилит-березитоидного ряда – кварц-серцитовые, кварцевые и кварц-карбонат-турмалиновые метасоматиты	Калиевый, магнезиально-железистый, кремне-кислотный. Биотититы, эпидотовые и хлоритовые пропилиты, поздние кварц-турмалиновые и карбонат-флюоритовые метасоматические ассоциации.	Калиевый, магнезиально-железистый, кремне-кислотный. Ранние: калишпатолиты, эпидотовые пропилиты, поздние: карбонат-хлорит-кварцевые метасоматиты.	Кремне-кислотный. Карбонат-хлорит-кварцевые, карбонат-серцит-кварцевые турмалиносодержащие метасоматиты
Геохимическая специализация	As, Pb, Te, Se, Bi	Bi, Te, B, Pb (As?)	Cu, Bi, Te, W, Mo	Cu, Pb, Bi	Cu, Pb, Bi, W, Mo	As, Pb, Mo
Рудные минералы	Арсенопирит, леллинит, пирротин, пирит, глаукокодот, шеелит, висмут, галенит, мальдонит, золото	Халькопирит, галенит, сфалерит, пирротин, пирит, молибденит, висмутин, арсенопирит, шеелит, золото	Пирит, молибденит, шеелит, самородный висмут, висмутин, козалит, пильзенит, гессит, самородное золото, электрум	Пирротин, сфалерит, халькопирит, галенит, пирит, гессит, самородный висмут, висмутин, висмутотеллуриды, золото	Пирротин, халькопирит, пирит, висмутин, хедлейит, самородный висмут, золото	Арсенопирит, кобальтин, галенит, сфалерит, пентландит, минералы Ag-Te-Se, акантит, электрум
Формы нахождения, морфология золота и его проба	Тонкодисперсное золото в ассоциации с арсенопиритом и леллинитом, самостоятельные зерна, размером 10–40 мкм. Высокопробное золото, Ag 3,44–12%, в среднем ~7% Ag	Золото пластинчатой формы, размером до 1 мм, отмечается в сростании с халькопиритом и в обособленных выделениях. Электрум; Ag – 29,88–30,630%.	Золото изометричной, каплевидной формы, размером до 0,1 мм, встречается самостоятельно или в сростании с теллуридами висмута. Высокопробное золото, Ag<5%	Тонкодисперсное золото в виде дендритов, пластинок, реже комковатое, со средним размером 0,15 мм. Встречается самостоятельно или в сростании с сульфидными самородным висмутом. Высокопробное золото, Ag колеблется от 4,94 до 12,7%	Тонкодисперсное золото полигональной, округлой формы, идиоморфные кристаллы, размером до 90 мкм (в среднем - 20 мкм). В ассоциации с минералами висмута или самостоятельно. Высокопробное золото, Ag 2,5 до 10,7%, в среднем – 5,1%	Тонкодисперсное золото изометричной, округлой формы, размер не превышает 20 мкм. Встречается в виде включений в минералах Ag-Te. Электрум, Ag 32,3%